

ANALES

ISSN 0365-1185



Tomo 73

BUENOS AIRES - 2022

**ANALES
de la
ACADEMIA NACIONAL DE CIENCIAS
EXACTAS, FÍSICAS y NATURALES**

TOMO 73

**BUENOS AIRES
2022**

Comisión de Biblioteca, Publicaciones y WEB
Presidente: Dr. Demetrio Boltovskoy
Miembro: Ing. Carlos H. Muravchik

Lugar y fecha de edición
Buenos Aires, Argentina, junio 2022

Esta publicación es propiedad de la Academia Nacional de Ciencias Exactas,
Físicas y Naturales

Toda la correspondencia referente a esta publicación debe dirigirse a:
All enquires regarding this publication should be addressed to:

Academia Nacional de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales
Avda. Alvear 1711, 4° piso
1014 Buenos Aires
Argentina

Tel.: (54-11) 4811-2998/(54-11) 4815-9451

Fax: (54-1) 4811-6951

E-mail Secretaría: acad@ancefn.org.ar

E-mail Biblioteca: biblio@ancefn.org.ar

Sitio web: www.ancefn.org.ar

CONTENIDO

Contenido	3
Estructura y actividades de la Academia	5
Autoridades y Miembros.....	6
Mesa Directiva.....	6
Secciones	6
Comisiones	7
Académicos Titulares	8
Académicos Eméritos.....	9
Académicos Honorarios	9
Académicos Correspondientes Nacionales	9
Académicos Correspondientes en el Exterior.....	10
Sesiones Ordinarias	13
Divulgación Científica	14
Publicaciones	15
Participación en Reuniones y Comunicación Institucional	16
Instituto de Botánica Darwinion	17
Incorporaciones de Académicos	19
Dra. Miriani Pastoriza.....	20
Dr. Francisco Hervé Allamand.....	23
Dr. Daniel de Florian.....	27
Dr. Ricardo Fraiman Maus	29
Dr. Osvaldo Civitarese.....	31
Dr. Carlos Ballaré	33
Dr. Gabriel Rabinovich.....	36
Homenajes	38
Dr. Alejandro Jorge Arvía	39
Dr. Alberto Pignotti (E. D. Ramos)	70
Dr. Miguel A. Virasoro (H. Fanchiotti).....	76
Prof. Eduardo L. Ortiz (Angela F. Danil de Namor)	78
Reconocimientos	80
Bicentenario de la Universidad de Buenos Aires.....	81

Dra. Cristina Mandrini.....	81
Dra. Noemí Zaritzky	81
Dr. Daniel R. Bes	81
Premios ANCFN	82
Apertura del acto de entrega de premios.....	83
Premios Consagración	87
Premios Estímulo.....	87
Premio en Innovación Tecnológica.....	88
Becas.....	89
Comunicaciones científicas	91
Georgius Agricola: A cuatrocientos sesenta y cinco años de la edición de su <i>De Re Metallica</i> (E. J. Baran)	92
Aquatic invasive species: the economic cost-benefit balance of human-made infrastructure (D. Boltovskoy, R. C. Guiaşu, L. Burlakova, A. Karatayev, M. A. Schlaepfer, N. Correa)	122
Novel mathematical and computational methods for science and engineering (O. P. Bruno).....	133
Breve historia del neutrino (O. Civitarese)	147
SAOCOM: satélite argentino. El proyecto antena radar de apertura sintética en la Comisión Nacional de Energía Atómica (A. M. Ghiselli, A. Lorenzo, N. Belinco, H. Quiroz, S. Terlisky, A. Hazarabedian, E. Forlerer, H. Garonis, H. Dhers, G. Di Pasquale, M. Sacchi, C. Belinco)	161
Geología de Chile, mirando al sudeste (F. Hervé Allamand)	184
21 años de experiencia de un físico teórico en la industria argentina (A. Pignotti).....	188
Instrucciones para autores	199

ESTRUCTURA y ACTIVIDADES DE LA ACADEMIA

Señores Académicos:

En el año 2021, excepcional por la persistencia de la pandemia de SARS -COVID 19, que nos mantuvo a todos aislados en nuestras casas, las actividades, debieron continuar con un formato virtual, y el funcionamiento de la Academia fue remoto. Por tanto, todas sus actividades se vieron afectadas, pero han podido ser cumplimentadas en la nueva modalidad.

El texto completo de la Memoria Anual 2021 puede ser consultado en el sitio web de la ANCEFN (<https://www.ancefn.org.ar/>).

Víctor A. Ramos
Presidente
Buenos Aires, abril de 2022

AUTORIDADES y MIEMBROS

MESA DIRECTIVA (2020-2022)

Presidente: Dr. Víctor A. Ramos
Vicepresidente: Dra. Gloria Dubner
Secretario General: Ing. Miguel Laborde
Secretario de Actas: Dr. Ricardo Sánchez Peña
Tesorera: Ing. Teresa Pérez
Protesorera: Dra. Alicia Dickenstein
Suplente: Dr. Galo Soler Illia
Suplente: Dr. Demetrio Boltovskoy
Presidente saliente: Dr. Roberto Williams

SECCIONES

Sección de Matemática, Física y Astronomía

Presidente: Dra. Gloria Dubner
Secretario: Dr. Jorge E. Solomín

Miembros:

Dra. Graciela Boente
Dr. Osvaldo Civitarese
Dr. Daniel de Florian
Dra. Alicia Dickenstein
Dra. Gloria Dubner
Dr. Ricardo Durán
Dr. Huner Fanchiotti
Dr. Pablo Ferrari
Dra. Cristina Mandrini
Dr. Mario A. J. Mariscotti
Dr. Félix Mirabel
Dr. Jorge Solomin
Dr. Víctor Yohai

Sección de Ciencias de la Ingeniería y Tecnología

Presidente: Dr. Ing. Raul Lopardo
Secretario: Ing. Teresa Pérez

Miembros:

Dr. Alfredo Calvelo
Ing. Luis de Vedia
Dr. Eduardo N. Dvorkin
Dr. Miguel Angel Laborde
Dr. Ing. Raúl A. Lopardo

Ing. Carlos H. Muravchik
Ing. Teresa Pérez
Dra. Marta Rosen
Dr. Ricardo Sánchez Peña
Dr. Sebastián Uchitel
Dr. Roberto Williams
Dra. Noemí Zaritzky

Sección de Ciencias Químicas, de la Tierra y Biológicas

Presidente: Dra. Norma Sbarbati Nudelman

Secretario: Dr. Galo Juan de Ávila Arturo Soler Illia

Miembros:

Dr. Carlos Ballaré
Dr. Miguel Angel Blesa
Dr. Demetrio Boltovskoy
Dra. Zulma Brandoni de Gasparini
Dr. Alberto Kornblihtt
Dra. Norma Sbarbati Nudelman
Dr. Armando J. Parodi
Dr. Gabriel Rabinovich
Dr. Víctor A. Ramos
Dr. Carlos W. Rapela
Dr. Galo Juan de Ávila Arturo Soler Illia
Dra. Carolina Vera
Dr. Fernando Zuloaga

COMISIONES

Comisión de Becas y Premios

Presidente: Dr. Armando J. Parodi

Miembros: Dr. Alfredo Calvelo y Dr. Huner Fanchiotti

Comisión de Biblioteca, Publicaciones y Web

Presidente: Dr. Demetrio Boltovskoy

Miembro: Ing. Carlos H. Muravchik

Comisión de Supervisión del Instituto de Botánica Darwinion

Presidente: Dr. Armando J. Parodi

Miembro: Dr. Demetrio Boltovskoy

Comisión de Interpretación y Reglamento

Presidente: Dr. Roberto Williams

Miembros: Dr. Carlos Rapela y Dra. Cristina Mandrini

Comisión de Educación en Ciencias

Presidente: Dra. Norma Sbarbati Nudelman

Miembros: Ing. Luis de Vedia, Dra. Alicia Dickenstein y Dr. Victor Yohai

Comisión para la ciudad de La Plata

Miembros: Dra. Zulma Brandoni y Dra. Noemi Zaritsky

**ACADÉMICOS TITULARES
y fechas de incorporación**

Dr. Carlos Ballaré	30-07-2021
Dr. Miguel Angel Blesa	28-08-2020
Dra. Graciela Boente Boente	24-04-2019
Dr. Demetrio Boltovskoy	29-06-2018
Dra. Zulma Brandoni de Gasparini	29-06-2012
Dr. Alfredo Calvelo	01-06-2007
Dr. Osvaldo Civitarese	28-05-2021
Dr. Daniel de Florian	30-04-2021
Ing. Luis A. de Vedia	29-05-2009
Dra. Alicia Dickenstein	27-07-2018
Dra. Gloria Dubner	29-09-2018
Dr. Ricardo Durán	31-08-2007
Dr. Ing. Eduardo N. Dvorkin	31-05-1996
Dr. Huner Fanchiotti	28-06-1991
Dr. Pablo Ferrari	30-07-2019
Dr. Alberto R. Kornblihtt	25-04-2014
Dr. Miguel Angel Laborde	25-10-2013
Dr. Ing. Raúl A. Lopardo	24-11-1995
Dra. Cristina Mandrini	23-03-2018
Dr. Mario A. J. Mariscotti	25-04-1986
Dr. Félix Mirabel	25-04-2014
Ing. Carlos H. Muravchik	28-04-2017
Dr. Armando J. Parodi	25-07-2003
Ing. Teresa Pérez	29-05-2015
Dr. Gabriel Rabinovich	27-08-2021
Dr. Victor A. Ramos	29-11-2013
Dr. Carlos W. Rapela	01-06-2007
Dra. Marta Rosen	25-04-2008
Dr. Ing. Ricardo Sanchez Peña	25-10-2013
Dra. Norma Sbarbati Nudelman	25-06-2004
Dr. Galo Arturo Soler Illia	29-04-2016
Dr. Jorge Solomín	24-06-2005

Dr. Sebastian Uchitel	13-12-2019
Dra. Carolina Vera	25-10-2019
Dr. Roberto Williams	27-03-2009
Dr. Víctor Yohai	29-10-1999
Dra. Noemí Zaritzky	29-09-2017
Dr. Fernando Omar Zuloaga	28-03-2014

ACADÉMICOS EMÉRITOS

Dr. Jorge Arvía (fallecido el 22-04-2021)
Dr. Enrique J. Baran
Dr. Gustavo Corach
Dr. Francisco de la Cruz
Dr. Norberto A. Fava
Dr. Roberto J. Fernández Prini
Dr. Roberto P. J. Perazzo
Dr. Alberto Pignotti (fallecido el 02-06-2021)
Ing. Horacio C. Reggini
Dr. Héctor Vucetich
Dra. Mariana D. Weissmann

ACADÉMICOS HONORARIOS

Dr. Daniel R. Bes
Dr. Richard Ernst
Dr. Yuan Tseh Lee
Dr. Pierre Louis Lions
Dr. Chintamani N. R. Rao

ACADÉMICOS CORRESPONDIENTES NACIONALES

Dr. Nicolás Andruskiewitsch (Córdoba)
Dr. Carlos Balseiro (Bariloche)
Dr. Néstor O. Bianchi (La Plata)
Dr. Hernán Cendra (Bahía Blanca)
Ing. Roberto O. Cudmani (S. M. de Tucumán)

Dr. Ing. Rodolfo F. Danesi (S. M. de Tucumán)
Dr. Diego de Mendoza (Rosario)
Ing. Luis D. Decanini (Córdoba)
Dr. Pedro Depetris (Córdoba)
Dra. Sandra Díaz (Córdoba)
Dr. Alejandro Fainstein (Bariloche)
Dr. Ricardo N. Farías (S. M. de Tucumán)
Dra. Karen Hallberg (Bariloche)
Dra. Eleonor Harboure (Bahía Blanca; fallecida el 15-01-2022)
Ing. Luis J. Lima (La Plata)
Dr. Arturo López Dávalos (Bariloche)
Dr. Hugo J. F. Maccioni (Córdoba; fallecido el 08-03-2022)
Dr. Roberto A. Macías (Santa Fe)
Dr. Ezio Marchi (San Luis)
Dr. Jorge Eduardo Marcovecchio (Bahía Blanca)
Dr. Rafael Panzone (Bahía Blanca)
Dr. Rubén D. Piacentini (Rosario)
Dra. María Ines Platzcek (Bahía Blanca)
Ing. Carlos A. Prato (Córdoba)
Ing. Juan Carlos Reimundín (S. M. de Tucumán)
Ing. Jean Riubrugent (La Plata)
Dr. Juan A Tirao (Córdoba)
Ing. Jorge R. Tosticarelli (Rosario)
Dr. Walter E. Triaca (La Plata)
Dr. Rubén H. Vallejos (Rosario)
Dr. Alejandro Vila (Rosario)
Dra. Noemi Walsoë de Reca (Ciudad Autónoma de Buenos Aires)

ACADÉMICOS ELECTOS (aún no incorporados)

Dr. Alberto Caneiro (Bariloche; electo el 29-05-2020)

**ACADÉMICOS CORRESPONDIENTES EN EL
EXTERIOR**

Dr. Miguel Angel Alario y Franco (Madrid, España)
Dr. Jorge E. Allende (Santiago de Chile, Chile)
Dr. Daniel Amati (Trieste, Italia)
Dr. Eduardo J. Ansaldo (Saskatchewan, Canadá)
Dr. Francisco E. Baralle (Trieste, Italia)
Dr. Allen J. Bard (Texas, Estados Unidos)
Dr. Miguel A. S. Basei (San Pablo, Brasil)
Dr. Klaus-Jürgen Bathe (Massachusetts, Estados Unidos)
Dr. José Luis Bernabeu Alverola (Valencia, España)

Dr. David I. Blockley (Bristol, Inglaterra)
Dr. Kare Bremer (Estocolmo, Suecia)
Dr Oscar P. Bruno (California, Estados Unidos)
Dr. Luis A. Caffarelli (New Jersey, Estados Unidos)
Dr. César A. Carranza Saravia (Lima, Perú)
Dr. Eduardo E. Castellano (San Pablo, Brasil)
Dra. Catherine Cesarsky (París, Francia)
Dr. Michael Clegg (California, Estados Unidos)
Dr. Juan Alberto Costamagna (Santiago de Chile, Chile)
Dr. Ubiratan D'Ambrosio (Campinas, Brasil)
Dra. Angela F. Danil de Namor (Surrey, Inglaterra)
Dr. Walter F. Davidson (Ontario, Canadá)
Dr. Antonio F. R. de Toledo Piza (San Pablo, Brasil)
Prof. Patrick J. Dowling (Surrey, Inglaterra)
Dr. Horacio A. Farach (South Caroline, Estados Unidos)
Dr. Ricardo Fraiman Maus (Montevideo, Uruguay)
Dr. Rodolfo Gambini (Montevideo, Uruguay)
Dr. Eduardo D. Glandt (Pennsylvania, Estados Unidos)
Dra. Gabriela González (Louisiana, Estados Unidos)
Dr. Ing. Rafael A. Guarga Ferro (Montevideo, Uruguay)
Dr. Cristian Gutiérrez (Pennsylvania, Estados Unidos)
Dr. Francisco Hervé Allamand (Santiago de Chile, Chile)
Dr. Shyam L. Kalla (Maracaibo, Venezuela)
Dr. Eugenia Kalnay (Maryland, Estados Unidos)
Dr. Bernt Krebs (Münster, Alemania)
Dr. Michio Kuriyagawa (Kyoto, Japon)
Prof. Pierre Lená (Paris, Francia)
Dr. Enrique P. Lessa (Montevideo, Uruguay)
Dr. Eduardo A. Lissi Gervaso (Santiago de Chile, Chile)
Prof. Achim Müller (Bielefeld, Alemania)
Dr. Daniele Mundici (Firenze, Italia)
Dr. Eduardo L. Ortiz (Londres, Inglaterra; fallecido el 29-12-2021)
Dra. Miriani Pastoriza (Porto Alegre, Brasil)
Dr. Rafael Radi (Montevideo, Uruguay)
Dr. Peter H. Raven (Missouri, Estados Unidos)
Dr. Lázaro Recht (Caracas, Venezuela)
Ing. Daniel Resasco (Oklahoma, Estados Unidos)
Dr. Ing. Jorge Riera (Porto Alegre, Brasil)
Dr. Juan G. Roederer (Alaska, Estados Unidos)
Dr. Herbert W. Roesky (Göttingen, Alemania)
Ing. Agr. Osvaldo E. Sala (Providence, Estados Unidos)
Ing. Agr. Juan Carlos Santamarina (Georgia, Estados Unidos)
Dr. Alberto Sirlin (New York, Estados Unidos; fallecido el 23-02-2022)
Dr. Igal Szleifer (Evanston, Illinois, USA)
Dr. Peter Thieberger (New York, Estados Unidos)
Prof. Dr. Tan Tjong-Kie (Taipei, Taiwan)

Dr. José Luis Torrea Hernández (Madrid, España)

Dr. Sergio Trasatti (Milán, Italia)

Dr. Miguel Angel Virasoro (Roma, Italia; fallecido el 23-07-2021)

Prof. Ing. Walter Wittke (Aachen, Alemania)

Dr. Rubén H. Zamar (Vancouver, Canadá)

ACADÉMICOS ELECTOS EN 2019-2021 (aún no incorporados)

Dr. Max Lu (Surrey, Reino Unido; electo el 26-07-2019)

Dra. Verónica Ganduglia (Madrid España; electa el 30-10-2020)

Dra. Marcela Carena (Estados Unidos; electa el 30-07-2021)

Dr. Matias Zaldarriaga (Estados Unidos; electo el 30-07-2021)

SESIONES ORDINARIAS

Las Sesiones Ordinarias se realizaron entre marzo y octubre de 2021 en formato remoto, a través de la plataforma zoom, cedida por la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales (<https://exactas-uba.zoom.us/j/99462976745?pwd=VG1ibms1dzFmZU5Ta05HWjBtc3c5QT09>).

El plenario de noviembre cedió su lugar a la entrega de premios ANCFN 2021, realizada en el auditorio del Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación productiva (C3).

El plenario del mes de diciembre se realizó de manera presencial y virtual simultáneamente.

DIVULGACIÓN CIENTÍFICA

La Academia Nacional de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales apoya y promueve la divulgación de la cultura científica en todo el país. De acuerdo con su mandato estatutario, la ANCEFN propone la realización del Ciclo de Divulgación Científica, cuyos antecedentes datan del año 2005. Se trata de un ciclo, orientado a un público no especializado, en formato de charlas de café.

Durante el año 2021 el ciclo de Cafés Científicos continuó con la modalidad remota comenzada en el 2020 y pasó a denominarse Conversaciones con la Academia. Se realizó mediante plataforma virtual desde el canal de YouTube del Centro Cultural de la Ciencia-C3

Las charlas, coordinadas por la prestigiosa periodista científica Nora Bär, permitieron convocar a numerosos científicos y público en general que no residen en Buenos Aires, incrementando exponencialmente el interés en los temas a través de las visitas realizadas a los videos subidos luego a nuestro canal de YouTube..

Las actividades organizadas en 2021 fueron las siguientes:

Cuando los gigantes dominaban el mundo. Una cita con la paleontología. A cargo de los doctores Beatriz Aguirre Urreta, Zulma Brandoni de Gasparini y Fernando Novas (21 de abril de 2021).

Big Mate: matemática detrás de la revolución de los datos. A cargo de los doctores Alicia Dickenstein, Pablo Groisman y Mariela Sued (19 de mayo de 2021).

Océanos: Vida, memoria del clima y pulmón del planeta. A cargo de los doctores Mirtha Lewis, Alberto Piola y Gustavo Ferreyra (23 de junio de 2021).

Voces femeninas en ciencia y tecnología. A cargo de las doctoras Bibiana Vilá, Silvina Ponce Dawson y Gloria Dubner con la participación de la Ing. Teresa Pérez. (21 de julio de 2021)

Alimentos: la tecnología detrás de lo que comemos. A cargo de la Dra. Noemí Elisabet Zaritzky, el Dr. Alfredo Calvelo y el Lic. Sergio Britos (25 de agosto de 2021).

¿Cómo funcionan las montañas? Levantamiento de los Andes y cambio climático. A cargo de los doctores Victor Ramos y Laura Giambiagi (22 de septiembre de 2021).

Memoria, penas y olvidos. A cargo de los doctores Jorge H. Medina y Pedro Bekinschtein (20 de octubre de 2021).

Un paseo por la física cuántica: Qué es, historia, futuro y aplicaciones. A cargo de los doctores Osvaldo Civitarese, Daniel Bes, Claudia Montanari y Christian Schmigelow (17 de noviembre de 2021).

PUBLICACIONES

En mayo de 2021 se publicó el libro “Metaloenzimas de plantas”, por Enrique José Baran, centrado en el análisis de biominerales de origen vegetal. Este libro es el No. 17 de la Serie de Publicaciones Científicas de la Academia Nacional de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales (ISBN 978-987-4111-16-6). La versión digital está disponible en <https://www.ancefn.org.ar/user/FILES/Academia/Metaloenzimas%20de%20plantas.pdf>

En diciembre de 2021 se publicó el libro “Inteligencia artificial: una mirada multidisciplinaria”, editado por Manuel A. Solanet y Manuel Marti. Este volumen de 345 páginas es el resultado del X Encuentro Interacadémico (2021). En su preparación intervinieron 17 Academias Nacionales (de Agronomía y Veterinaria, de Bellas Artes, de Ciencia de la Empresa, de Ciencias de Buenos Aires, de Ciencias de Córdoba, de Ciencias Económicas, de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, de Ciencias Morales y Políticas, de Derecho y Ciencias Sociales de Buenos Aires, de Educación, de Farmacia y Bioquímica, de Geografía, de Historia, de Ingeniería, de Medicina de Buenos Aires, de Odontología, de Periodismo) y la Academia Argentina de Letras, y alrededor de 70 autores. La ANCEF N contribuyó con la sección “Desmitificando la Inteligencia Artificial”, bajo la autoría de Laura Ación, Laura Alonso Alemany, Enzo Ferrante, Eric Lützow Holm, Vanina Martínez, Diego H. Milone, Ricardo Rodríguez, Guillermo Simari y Sebastián Uchitel. La versión digital de esta obra disponible en: <https://ancefn.org.ar/user/FILES/PUBLICACIONES/Libro%20Inteligencia%20Artificial-X%20Encuentro%20Interacad%202021.pdf>.

PARTICIPACIÓN en REUNIONES NACIONALES e INTERNACIONALES y COMUNICACIÓN INSTITUCIONAL

La Academia Nacional de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales mantiene un alto perfil en su interrelación con instituciones internacionales. Durante el 2021, las reuniones realizadas en forma virtual permitieron a la Academia participar de diferentes programas y discusiones. La participación a través de nuestros representantes incluyó los siguientes eventos:

IANAS (Interamerican Network of Academies of Science) CE (Clean Energy),
Académico Presidente Víctor A. Ramos.

IANAS-IAP (Interacademy Partnership), Académico Presidente Víctor
Ramos.

IANAS Agua, Académico Raúl Lopardo.

IANAS Women for Sciences, Académica Gloria Dubner.

S20 (Science 20), anfitrión Italia, Académico Presidente Víctor A. Ramos y
Acad. Roberto Williams.

Comité Interacadémico, Académicos Miguel Laborde y Ricardo Sánchez Peña.
IANAS-IAP, Académico Roberto Williams.

La página web <http://www.ancefn.org.ar> se continuó actualizando permanentemente con novedades, noticias, publicaciones, etc. Esta página refleja las noticias y actividades desarrolladas e impulsadas por la Academia y sus académicos. Teniendo en cuenta la importancia que tienen hoy en día las redes sociales, también se cuenta con una página de Facebook e Instagram (@ancefn9) para la difusión de novedades, convocatorias y comunicaciones con el objeto de ampliar el acceso a una creciente cantidad de interesados en las actividades promovidas.

Se otorgaron los siguientes apoyos internacionales:

Apoyo, conjuntamente con ANC, en IANAS para postular a Dr. Enrique Forero como miembro del Comité Ejecutivo del IAP (Interacademy Partnership).

Apoyo a la iniciativa de la American Physical Society solicitando que UNESCO declare 2025 como el Año Internacional de la Cuántica.

Reuniones Nacionales:

Ministerio de Educación - Acad. Presidente Víctor A. Ramos

Ministerio de Obras Públicas - Acad. Vicepresidente Gloria Dubner

Participación en diversos actos organizados con motivo de los 200 años de la fundación de la Universidad de Buenos Aires.

INSTITUTO de BOTÁNICA DARWINION

La ANCEFN, desde 1934, y luego conjuntamente con el CONICET, tiene bajo su dependencia el Instituto de Botánica Darwinion (IBODA), donado por quien fuera Académico Titular, el Dr. Cristóbal M. Hicken, y situado en el barrio Parque Aguirre, en la localidad de San Isidro, provincia de Buenos Aires. El IBODA está dedicado especialmente a estudios taxonómicos de la flora argentina.

Posee un herbario con más de 600.000 ejemplares, existiendo una importante y valiosa cantidad de material del siglo XIX. El incremento anual es del orden de los 7.000 ejemplares, por nuevas colecciones y canjes con otras instituciones nacionales e internacionales. Su biblioteca, conformada por unos 60.000 volúmenes, de los cuales alrededor de 100 son obras del siglo XVIII y algunas de suma rareza del siglo XVI, es una de las más completas y dinámicas de América Latina en el campo de la Botánica. El IBODA edita la mundialmente prestigiosa revista "Darwiniana", dedicada a difundir primordialmente trabajos originales sobre sistemática, florística, palinología, etnobotánica, etc. Asimismo, edita el boletín "Hickenia", cuyo objetivo es la publicación rápida de artículos breves con novedades botánicas, tales como la descripción de taxones nuevos y la resolución de problemas taxonómicos y de nomenclatura. El sitio Web del IBODA (www.darwin.edu.ar), permite el acceso al Catálogo de la Flora Vasculare de Argentina y a los resúmenes de los trabajos publicados en "Hickenia" y "Darwiniana".

La Academia tiene un programa de apoyo de financiamiento de las actividades ordinarias del Instituto.

El Instituto de Botánica Darwinion eleva anualmente la rendición de los gastos incurridos por el Instituto con los fondos provistos por esta Academia y por el resto de las instituciones que apoyan financieramente el desarrollo del Instituto.

Durante 2021 tuvo lugar el concurso para designar al director del Instituto, cargo que quedara vacante luego de la jubilación del Acad. Dr. Fernando Zuloaga. El jurado que evaluó las postulaciones al cargo estuvo constituido por la Dra. Sandra Myrna Díaz y los Dres. Martín Roberto Aguiar, Enrique Forero, Rodolfo Dirzo, Roberto J. J. Williams y Gabriel Bernardello para seleccionar al/la Director/a regular del Instituto de Botánica Darwinion (IBODA), Unidad Ejecutora de doble dependencia CONICET- ANCEFN.

Se constituyeron dos postulantes al cargo, la Dra. Renée Hersilia Fortunato y el Dr. Raúl Ernesto Pozner.

El Jurado procedió a entrevistar los postulantes y, valorar sus antecedentes, así como el proyecto institucional presentado por escrito y las opiniones vertidas durante la entrevista: El jurado consideró que ambos postulantes cuentan con los méritos necesarios para ser designados en la dirección del Instituto objeto de este concurso proponiendo, por unanimidad, el siguiente orden de mérito para ocupar el cargo de Director del IBODA:

- 1) Dra. Renée Hersilia Fortunato
- 2) Dr. Raúl Ernesto Pozner

INCORPORACIONES de ACADÉMICOS

Incorporación de la Dra. Miriani Pastoriza como Académica Correspondiente (26 de marzo de 2021)

Presentación de la Dra. Miriani Pastoriza



La Dra. Miriani Griselda Pastoriza nació en Loreto (Prov. de Santiago del Estero), donde vivió hasta completar sus estudios secundarios. Estudió astronomía en el recientemente creado Instituto de Matemática, Astronomía y Física (luego FAMAF) de la Universidad de Córdoba, donde, en 1965, fue la primera mujer en graduarse como Licenciada en Astronomía en dicha Universidad. Para hacer el doctorado su director, el Dr. José Luis Sésic, tuvo que gestionar un permiso especial para que le permitan subir a la Estación Astrofísica de Bosque Alegre para realizar las observaciones, ya que no permitían la presencia de mujeres. En 1973 obtuvo el título de Doctora en Astronomía por la Universidad de Córdoba. Fue el segundo doctorado en astronomía obtenido por una mujer en Argentina.

Con las observaciones realizadas para la tesis con el telescopio de 1.54 m, uno de los instrumentos más grandes de Sudamérica en la época, descubrieron unas galaxias con núcleos peculiares, revelando que, contrariamente al paradigma de la época que sostenía que los centros de las galaxias sólo acumulaban estrellas muy viejas, en algunos casos había una activa formación de estrellas nuevas en su núcleo. Ese hallazgo revolucionó la ciencia extragaláctica marcando un punto de inflexión en la disciplina y por la importancia de sus resultados estas galaxias pasaron a llamarse galaxias Sersic - Pastoriza, y aún hoy se citan esos trabajos. Participó luego en otro descubrimiento de gran impacto acerca de núcleos activos en galaxias, demostrando actividad y variabilidad espectral en el núcleo de una galaxia en particular que estaría indicando la posible presencia de agujeros negros supermasivos en su interior. La mayoría de sus colegas descreyeron de este hallazgo y lo atribuyeron a errores de observación, lo que la obligó a revisar intensamente los resultados hasta confirmar plenamente que sus conclusiones iniciales eran correctas. El trabajo salió publicado recién cinco años más tarde y nuevamente sus estudios marcaron un quiebre en el paradigma de los conocimientos del universo observable de esa época. En ese tiempo obtuvo una beca para realizar pasantías en el Observatorio Stewart de la Universidad de Arizona y en la Universidad de Texas, donde trabajó con los astrónomos más importantes de la época.

Luego de doctorada continuó su trabajo en el Observatorio de Córdoba con un cargo de Jefa de Trabajos Prácticos, pero durante la dictadura le aplicaron la “Ley de Prescindibilidad” y perdió su trabajo. Volvió a Santiago del Estero a dar clases particulares de matemática y física para sobrevivir mientras su esposo, astrónomo también, estaba detenido (secuestrado en el campo La Perla desde agosto del '76). Contactando colegas del exterior la Dra. Pastoriza consiguió un contrato de trabajo en Porto Alegre (Brasil), lugar donde se reencontró con su esposo cuando él recuperó la libertad en 1978. Pero para conseguir ese puesto de trabajo ella debió cambiar completamente su área de estudio y pasar a trabajar con instrumentos mucho más limitados que los de Córdoba. Aún así, con un telescopio de 50 cm, realizó estudios de gradientes de metalicidad en cúmulos globulares que le permitieron inferir importantes resultados sobre la evolución química de la Vía Láctea, nuevamente produciendo resultados de alta calidad e impacto.

Años más tarde realizó una estadía postdoctoral en el Royal Greenwich Observatory (Inglaterra), trabajó casi un año en el Instituto del Telescopio Espacial, realizó numerosas misiones observacionales en el Observatorio de Cerro Tololo (Chile) y dictó cursos en el Instituto de Astrofísica de Canarias (España).

Ha sido Investigadora del Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) de Brasil hasta su retiro este año con la máxima categoría (1A). Actualmente cuenta con una beca de CNPq como investigadora Senior hasta el año 2025.

Hasta el presente ha publicado 123 artículos en revistas internacionales arbitradas, 236 publicaciones en total y numerosas contribuciones en actas de congresos internacionales arbitradas. Sus publicaciones cuentan con casi 4000 citas (parámetro $h=35$). Dirigió 15 Tesis de Doctorado y 17 Tesis de Maestría, incluyendo a varios estudiantes de la Universidad de Córdoba, institución con la que siempre mantuvo vínculos.

En Brasil desarrolló también una meritoria carrera docente. Desde 1982 se desempeñó como Profesora en el Instituto de Física de la Universidad Federal de Río Grande do Sul (Porto Alegre Brasil), y desde 1985 hasta su jubilación ha sido Profesora Titular Plenaria. Desde 2014 es Profesora Emérita y en la actualidad continúa trabajando como Profesora Colaboradora dictando cursos de postgrado. Fue vicedirectora y luego directora del Instituto de Física (UFRGS), Directora del Departamento de Astronomía y Directora del Observatorio Astronómico de esa Universidad. Es, además, representante de Brasil del Comité Científico Internacional de los telescopios Gemini; representante de Brasil en el Consejo Directivo Internacional del Telescopio SOAR; miembro del Consejo Directivo del Observatorio Nacional de Río de

Janeiro y miembro del Consejo Directivo del Laboratorio Nacional de Astrofísica de San Pablo.

En el año 2007 fue incorporada como miembro Titular de la Academia Brasileira de Ciencias. En 2008, se le otorgó uno de los mayores premios a los que puede aspirar un científico en Brasil: "Comendadora da Ordem Nacional do Mérito Científico" de la Presidencia de la República de Brasil, que le fue entregado por el entonces presidente de ese país, Luiz Inácio Lula da Silva. En 2018 la Universidad Nacional de Córdoba le otorgó el Doctorado Honoris Causa.

Gloria Dubner

Incorporación del Dr. Francisco Hervé Allamand como Académico Correspondiente (16 de abril de 2021)

El 16 de abril de 2021 se realizó el segundo acto académico de incorporación del año, con la presentación del Dr. Francisco Hervé Allamand. La incorporación del Dr. Hervé como Miembro Correspondiente de Chile, fue transmitida en la plataforma zoom de la Facultad de Ciencias Exactas de la Universidad de Buenos Aires. La ceremonia fue seguida además en forma virtual por el canal YouTube de la Academia por una concurrida audiencia que alcanzó más de 250 participantes. A pocos días de la presentación este acto académico ya cuenta casi con 500 visualizaciones, lo que muestra el interés y el afecto que ha despertado la presentación de nuestro flamante miembro correspondiente.

Es interesante destacar que al momento nuestra Academia solo contaba con tres miembros correspondientes de la hermana república de Chile. Sin embargo, el Dr. Hervé es el primer miembro nacido en Chile dado que los otros tres son extranjeros radicados en ese país. Nos prestigian con su membresía el Dr. Jorge E. Allende, oriundo de Costa Rica y los doctores Juan Alberto Costamagna y Eduardo A. Lissi Gervaso, dos químicos que emigraron de Argentina a partir de la Noche de los Bastones Largos y se radicaron desde entonces en ese país.

Nos honró en la incorporación la Dra. María C. Hidalgo, Presidenta de la Academia Chilena de Ciencias, quien con sus palabras reconoció la importancia de la distinción recibida por el Dr. Hervé.

El presidente de la Academia, Dr. Víctor A. Ramos, abrió el acto académico, que era seguido por participantes de ambos países, con una audiencia que se extendía a numerosos colegas de Europa, Estados Unidos y de Latinoamérica, en especial con una nutrida concurrencia de científicos brasileños. Tras destacar que el Dr. Hervé había sido electo por unanimidad como miembro correspondiente el 12 de diciembre de 2020, anunció su disertación sobre *“Geología de Chile, mirando al Sudeste”*. Asimismo, destacó que el título de la presentación hacía referencia a una continua colaboración con geólogos argentinos a través de los años que había permitido un mejor entendimiento de los procesos a ambos lados de la Cordillera de los Andes.

El Académico Titular doctor Carlos W. Rapela hizo la presentación del beneficiario con una síntesis de sus logros científicos y cualidades personales.

Víctor A. Ramos

Presentación del Dr. Francisco Hervé Allamand



Es un honor y un placer para mí hacer la presentación como Académico Correspondiente del Dr. Francisco Hervé, ampliamente reconocido por la comunidad internacional de las Ciencias de la Tierra. Francisco es más conocido como Pancho Hervé por la comunidad geológica de Sudamérica y por los colegas y amigos que lo tratan asiduamente.

Francisco Hervé se desempeña actualmente como Profesor Titular del Departamento de Geología de la Universidad de Chile y Profesor Titular e Investigador de la Carrera de Geología en la Universidad Andrés Bello, en Santiago de Chile. Es miembro de la Third World Academy of Sciences desde 1996, Miembro de Número de la Academia de Ciencias de Chile desde 2003 y Miembro Correspondiente de la Academia Nacional de Ciencias, Córdoba, Argentina desde 2012. Es además Miembro Fundador y Honorario de la Sociedad Geológica de Chile, Miembro Honorario de la Geological Society of America, Miembro Honorario de la Geological Society of London y Miembro Correspondiente de la Asociación Geológica Argentina. Se ha desempeñado como Director del Departamento de Geología en la Universidad de Chile, Presidente de la Sociedad Geológica de Chile en dos períodos distintos y Coordinador del Programa Institucional Antártico de la Universidad de Chile.

Obtuvo en sus inicios, en 1965, el título de Geólogo en la Universidad de Chile, con una Memoria sobre la geología y geomorfología de las islas Shetland del Sur; en 1968 el título de Doctor de 3er. Ciclo en Geología en la Universidad de Paris, Francia, y en 1974 el de Doctor en Ciencias de la Universidad de Hokkaido en Japón. Ya como Profesor en la Universidad de Chile desarrolló una intensa labor científica, docente y de gestión institucional, tanto en Chile como en el exterior. Participó en 12 Expediciones Científicas en la Antártida, organizadas por Chile, Alemania y Estados Unidos, presidiendo además numerosos simposios internacionales de geología antártica y geología andina.

Su destacada personalidad científica se focaliza en la geología del sur del Sudamérica, en particular los Andes y la Antártida Occidental. Ha publicado más de 120 artículos en revistas internacionales de primer nivel, 27 capítulos de libros internacionales y 47 artículos en revistas nacionales. Ha sido Editor de varias revistas internacionales y nacionales indexadas. Muchas de sus

contribuciones científicas en los sectores extensos en los que desarrolló su actividad, son una referencia geológica obligatoria del conocimiento actual de los mismos. Entre ellos cabe mencionar la edad y evolución del Batolito Patagónico, columna vertebral de los Andes Australes y la del basamento metamórfico que lo infrayace, al igual que en la Península Antártica.

Dirigió, más de 80 Memorias de Graduación de Geólogo, tesis de Magister y tesis de Doctorado, y continúa en la actualidad dirigiendo jóvenes, en esos tres niveles. Finalmente, se quiere destacar la estrecha colaboración con colegas argentinos, que ha tenido desde el inicio de su carrera hasta el presente. Participó activamente del primer proyecto académico conjunto entre Chile y Argentina (CONICET-Argentina- CONICYT –Chil, 1987-1989) para el estudio de la Cordillera Norpatagónica. Desde ese entonces, ha realizado numerosas publicaciones en colaboración con colegas argentinos de diversas universidades nacionales.

Pero hay otras cualidades del Dr. Hervé que quisiera describir aquí, aparte de sus relevantes méritos científicos y académicos, aspectos más humanos por cierto, que describen su personalidad. Me ha tocado participar de campañas científicas en los Andes con Pancho, desde que éramos mucho más jóvenes, hasta virtualmente la actualidad (interrumpidos por la pandemia) . En esas campañas por lugares muy aislados y remotos, la única presencia humana son puestos que habitan paisanos, a veces un hombre solo, a veces una familia, casi siempre personas muy cortas de palabra. Pancho les dedica a ellos mucho más tiempo que cualquier otro colega que conozco. Y cuando estas personas advierten que el amable y cordial interlocutor que tienen delante, no tiene otro interés más que conocer la historia de las montañas que los rodean y los humanos que las habitan, que esa persona sonriente no está buscando minerales y vetas para explotar, comienzan entonces a abrirse, Relatan entonces, con en su vocabulario reducido, como fueron a vivir a ese lugar, a veces nacidos ahí mismo en la montaña, las historias de sus padres, de sus abuelos, y de toda la región misma. Estos encuentros, repetidos en forma natural, en distintos lugares de una región inmensa, y realizados sin un propósito definido, dieron una riqueza adicional a nuestras excursiones científicas en los Andes. Nos enriquecen con una visión cultural humana de la vida en esas regiones, que no está normalmente en los libros.

Con esas características, Pancho no podía dejar de ser una persona curiosa de los hechos históricos notables de esa región, especialmente del extremo sur del continente. Si ustedes van a Chile, en la librería del Aeropuerto de Santiago, encontrarán un libro de Francisco Hervé titulado, “Soy Jemmy Button el Salvaje”. Habiendo dedicado varios años a investigar la geología de los Andes Australes, al sur de Tierra Fuego en el canal de Beagle, no pudo substraerse a la atracción de la historia

cinematográficamente triste de Jemmy Button en esta región, que se ha hecho conocida.

Pancho describe en detalle esta historia que comienza en 1826 cuando la corona británica destaca al bergantín Beagle al mando del capitán Robert Fitz Roy de 23 años, un estudio de reconocimiento y estudio geográfico en la zona de Tierra del Fuego. Fitz Roy descubre el canal de Beagle, al que da el nombre de su barco, y en 1830 embarca a tres nativos de la etnia kaweskar, también conocido y luego a un nativo de 14 años de la etnia yaghan, que se habían subido amistosamente al barco con la intención de hacer trueques. Fitz Roy embarca también al joven yaghan, que intercambié con el tío del muchacho a cambio de un botón de nácar de su chaquetón. Los cuatro nativos son llevados a Inglaterra, con la intención de civilizarlos y evangelizarlos, para luego devolverlos a su lugar de origen. Le dan nombres ingleses a los 4, y al muchacho yaghan le dan el nombre de Jemmy Button, por el botón del intercambio. En Inglaterra los visten a la usanza inglesa, les enseñan inglés e inclusive los llevan a conocer a los reyes de Inglaterra. En 1833 los nativos son embarcados de vuelta en el Beagle, que seguía al mando de Fitz Roy, y en este segundo viaje lleva a bordo además, a un joven e inexperto naturalista de nombre Charles Darwin, que describió los hechos. Los nativos son dejados en el mismo lugar donde habían embarcado a Jemmy Button, en la bahía Wulaia de isla Navarino, con vestimenta inglesa y enseres y porcelana fina que se usaba en Inglaterra. Dejo a la imaginación de ustedes, qué puede haber resultado de este dispar choque cultural: nativos, tal vez de los más primitivos que había en la Tierra en esos tiempos, equiparables a la edad de piedra, con la cultura victoriana de Inglaterra, el país más poderoso del mundo en ese entonces. Los interesados pueden leer sobre estos hechos en el libro de Pancho.

Ahora volvamos a la geología, y a la charla de Francisco Hervé; "*Geología de Chile, mirando hacia el sudeste*".

Carlos W. Rapela

Incorporación del Dr. Daniel de Florian como Académico Titular (30 de abril de 2021)

Presentación del Dr. Daniel de Florian



El Dr. de Florian pertenece al mundo de las partículas elementales, la rama de la Física que estudia los componentes fundamentales de la materia y las interacciones entre ellos. Es también conocida como la Física de Altas Energías en razón que muchas de estas partículas solo se pueden producir y estudiar en las colisiones provocadas en los grandes aceleradores que el hombre ha podido construir.

El Dr. de Florian es actualmente Profesor Titular de la Universidad Nacional de San Martín e Investigador Superior de CONICET. Es Director del Centro Internacional de Estudios Avanzados cuya sede se encuentra en esa universidad y del cual participo de su creación. También que es Miembro del Comité que asesora a la Universidad de San Andrés.

Tiene una destacada actividad internacional en los centros más relevantes de este tipo de estudios en particular en el CERN, cuyo acelerador ha producido el descubrimiento reciente del bosón de Higgs. Es de señalar que los cálculos y modelaje que realizaron en su momento el Dr. de Florian y sus colaboradores acerca de los procesos de producción de Higgs fueron muy útiles al momento del análisis de los datos para asegurar su determinación y comprobación.

Tiene un gran número de publicaciones en las mejores y más reconocidas revistas de su especialidad a nivel internacional. Una idea del impacto de su trabajo la dan las bases de datos Science Citation Index y Scopus, donde figuran casi 150 publicaciones con un número de citas aproximado de 30800 y un índice de Hirsh de 49.

Cabe destacar que el Dr. de Florian es uno de los autores del Review of Particles Physics, que es como la biblia en el campo de las partículas elementales ya que resumen periódicamente todo el conocimiento que se tiene en el área.

Ha dictado un número muy importante de conferencias plenarios y realizado un número importante de publicaciones en congresos

internacionales de su especialidad. También fue organizador de este tipo de eventos científicos a nivel nacional e internacional. A nivel académico se destaca que ha dirigido 23 Tesis de Licenciatura y Tesis Doctorales.

Sus méritos le han valido el reconocimiento en forma de premios y distinciones a nivel nacional e internacional, incluyendo el Premio Houssay a la Investigación Científica (2005), el Premio Juan José Giambiagi de la Academia Nacional de Ciencias Exactas (2007), el Beller Lectureship, de la American Physical Society (2008), el Guggenheim Fellowship (2008-2009), el TWAS Award in Physics (2014), el Humboldt Research Award (2016), la Mención de Honor al Valor Científico (Senado de la Nación; 2017), y la nominación como Member of Academy of Sciences of Latinoamerica (2018).

Huner Fanchiotti

Incorporación del Dr. Ricardo Fraiman Maus como Académico Correspondiente (14 de mayo de 2021)

Presentación del Dr. Ricardo Fraiman Maus



Me es muy grato presentar al Dr. Fraiman como Académico correspondiente.

Con el Dr. Fraiman me une una larga amistad y colaboración científica. Tuve el agrado de dirigir su tesis doctoral en el Departamento de Matemática de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales finalizada en 1980.

La actividad científica del Dr. Fraiman se ha desarrollado en Estadística Matemática, especialmente en las áreas de métodos robustos, estadística no paramétrica, estimación de densidades y datos funcionales. En los últimos años también ha incursionado en el estudio de estimación de conjuntos.

La labor del Dr. Fraiman se ha caracterizado por la introducción de nuevos procedimientos estadísticos que requieren para su desarrollo la resolución de problemas matemáticos de alta complejidad. Por lo tanto, muchos de sus trabajos admiten dos lecturas. Una es de interés estrictamente estadístico y está vinculada a los métodos propuestos y sus aplicaciones a las distintas ramas de la ciencia. La segunda lectura, de interés más matemático, consiste en las complejas e interesantes demostraciones de las propiedades de esos métodos.

El Dr. Fraiman es autor de numerosas trabajos en el área de Estadística Matemática. Muchos de estos trabajos han sido publicados en revistas estadísticas de gran prestigio internacional. Podemos mencionar especialmente las cuatro más importantes revistas del área: *Annals of Statistics*, *Journal of the American Statistical Association*, ambas americanas, *Biometrika* y el *Journal of the Royal Statistical Society*, ambas británicas. Estas revistas tienen un referato muy estricto seleccionando únicamente trabajos que significan una contribución científica muy significativa. Es autor de un total de 86 trabajos y de acuerdo al Google Scholar su índice h es 35 y el número de citas 4700.

Como consecuencia de su brillante labor científica, el Dr. Fraiman ha sido invitado por varios centros de alta excelencia académica en la especialidad donde desarrolló investigaciones en colaboración con

investigadores locales. Podemos citar el Instituto de Matemática Pura e Aplicada (IMPA) de Rio de Janeiro, Brasil, la University of Washington, Seattle, USA, University of British Columbia, Vancouver, Universidad Autónoma de Madrid, España, Universidad de Santiago de Compostela, España, Rutgers University, New Brunswick, NJ, USA y la Université Aix de Marseille, Marsella, Francia.

Actualmente es profesor en la Universidad de la República en Montevideo. Anteriormente fue profesor en La Universidad de Buenos Aires y en la Universidad de San Andrés.

Ha sido director del Departamento de Matemática y Ciencias de la Universidad de San Andrés y del Centro de Matemática de la Facultad de Ciencias en la Universidad de la República.

Ha dirigido 5 tesis de doctorado una en la Universidad del Litoral, 3 en la Universidad de La Republica y una en la Université Aix de Marseille, en Marsella, Francia.

El Dr. Fraiman fue designado integrante del Council de la Bernoulli Society, un organismo del International Statistical Institute. Esta Sociedad tiene como objetivo el avance de la ciencias de Probabilidades y Estadística Matemática. También ha sido Editor Asociado de Bernoulli, la revista de esta Sociedad.

Todos estos antecedentes le han valido ser designado miembro de número de la Academia de Ciencias del Uruguay.

Considero que la incorporación del Dr. Fraiman como Académico Correspondiente significará un aporte muy valioso para nuestra Academia.

Ricardo, mi más calurosa bienvenida como miembro correspondiente de esta Academia.

Víctor Yohai

Incorporación del Dr. Osvaldo Civitarese como Académico Titular (5 de mayo de 2021)

Presentación del Dr. Osvaldo Civitarese



Me complace de modo particular presentar al querido y respetado colega Dr. Osvaldo Enrique Civitarese, uno de los más destacados físicos argentinos, en ocasión de su incorporación a esta Academia.

El Dr. Civitarese ha alcanzado un posición de vanguardia internacional por sus estudios en física nuclear y en particular sobre las propiedades del neutrino.

Permítanme que para dar una mejor idea de sus contribuciones, me refiera brevemente a esta partícula, el neutrino, la más enigmática de la física, muy difícil de detectar que nació de una osada hipótesis de Pauli en el año 1930 para salvar el principio de la conservación de la energía y tardó 26 años en ser observada por primera vez. El neutrino juega un papel fundamental en el decaimiento radioactivo de los núcleos atómicos y en la estructura del Universo.

Hoy se sabe que hay tres tipos de neutrinos, que tienen una masa muy pequeña (una millonésima parte de la del electrón) y que interactúan muy poco con la materia: la enorme mayoría de los 65 mil millones de neutrinos que nos llegan del Sol por cm^2 y por segundo atraviesan la Tierra. O sea que no es fácil estudiarlos.

Una forma de conocer más sobre los neutrinos es investigar un raro proceso, no detectado, aún llamado doble decaimiento beta sin emisión de neutrinos. Es éste el proceso al cual Civitarese ha dedicado muchos años de labor desde 1998 y que le ha valido el máximo reconocimiento internacional. Él ha sido responsable por la organización de un simposio internacional sobre este tema.

Otras contribuciones de Civitarese volcadas en 325 publicaciones internacionales con cerca de 5100 citas, han sido en el desarrollo de modelos del núcleo con aplicaciones a la física de astropartículas; de métodos estadísticos aplicados a la descripción del núcleo, tema sobre el cual recientemente Springer publicó *Elements of Statistical Mechanics. A modern*

View de Civitarese y M. Gadella; y a partir del año 2000 realizó una fecunda tarea en colaboración con Daniel Bes relativa a la aplicación de la Teoría Nuclear de Campos a distintos fenómenos nucleares.

Su prestigio internacional se sustenta también en una intensa colaboración con científicos de, y estadias en, instituciones de México, Brasil, EEUU, España, Alemania, Suecia, Sudáfrica, Japón, Rusia, Eslovaquia, República de Praga y Finlandia.

El Dr. Civitarese nació en La Plata, estudió en la UNLP donde hizo sus estudios secundarios que concluyó en 1965 con el premio al mejor promedio, obtuvo la licenciatura en 1972 y el doctorado en 1974 con su trabajo final que mereció el premio a la mejor tesis. En 1975 al 78 estuvo en el instituto Niels Bohr Invitado por el gobierno de Dinamarca. En 1979-80 ganó una beca Humbolt para trabajar en el KFA de Julich. En 1980 volvió al país e ingresó a la carrera del investigador científico del CONICET alcanzando la categoría de Investigador Superior en 2001. En 1986 fue designado profesor titular en la UNLP (actualmente emérito desde 2019). Fue Jefe del Depto de Física de la UNLP en 1988-89 y 2005-2006. Fue profesor visitante en el Insituto de Física Teórica de la Univ de Tubingen, Alemania (1985; 1987 y 1990), Insituto de Tecnología de California, Pasadena (1987), Universidad de Iowa, EEUU (1998), Departamento de Física Universidad de Jyvaskyla, Finlandia (1998; en este lugar hizo visitas cortas de dos meses todos los años desde 2000 al 2020), Profesor de Excelencia en la Universidad de Osaka (1999), Instituto de Física Teórica de Dubna (2020).

En 2003 recibió el premio Houssay de la SECYT, en 2004 el premio de esta Academia de Ciencias, en 2013 el Premio Konex, y en 2016 Premio Houssay a la trayectoria científica otorgado por el Ministerio de Ciencias.

Ha dirigido 16 tesis doctorales y 20 tesis de licenciatura (UNLP).

Para terminar, quiero destacar la tarea (que categorizaría como patriótica) que el Dr. Civitarese ha realizado junto con su colega el Dr. Xavier Bertou, en relación al Proyecto ANDES. Se trata de un laboratorio bajo 1750 m de roca, el primero in sud america, para hacer física de neutrinos, estudios de efectos biologicos a dosis extremadamente bajas e investigaciones sobre la materia oscura uno de los más grandes temas de la física que aún permanecen sin respuesta.

Mario A. J. Mariscotti

Incorporación del Dr. Carlos Ballaré como Académico Titular (30 de julio de 2021)

Presentación del Dr. Carlos Ballaré



El foco de las investigaciones de Carlos Ballaré puede ser resumido en dos palabras: plantas y luz.

Uno de sus primeros trabajos, en los inicios de su actividad como investigador, fue la piedra fundamental que alteró la interpretación de la manera en que las plantas responden a la presencia de sus vecinos. En esta investigación (publicada en 1990 en *Science*, una de las más prestigiosas revistas científicas del mundo), Carlos demostró que las plantas son mucho más que organismos sésiles que responden de manera monótona y pasiva a su entorno, sino sistemas dotados de una amplia y compleja capacidad de respuesta a los estímulos externos orientada a favorecer su crecimiento y aptitud. Este trabajo fue abordado mediante un original e ingenioso diseño, consistente en cubrir porciones del tronco con fundas que atenuaban algunas longitudes de onda de la luz incidente modificando, de esa manera, la calidad de la luz y las señales lumínicas recibidas por el organismo. Estos experimentos mostraron una fuerte reacción de evasión de la sombra, evidenciada por la elongación del tallo y la modificación del ángulo de las hojas, con la obvia intención de ganar la batalla en el acceso a la luz. Lo interesante y novedoso de este resultado es que estas plantas no estaban expuestas al stress que implica la competencia con plantas vecinas y el consiguiente hacinamiento, sino que fueron engañadas para interpretar que el sitio se estaba poblando con competidores, y este estímulo fue suficiente para que reaccionaran.

Estos hallazgos lo fueron llevando al campo de la biología molecular con el fin de ahondar en el estudio de los mecanismos fisiológicos involucrados en el papel de los fitocromos y otros fotoreceptores en las interacciones no solamente entre plantas, sino también entre éstas y sus enemigos naturales, en particular los insectos fitófagos y los hongos parásitos. La pregunta a la que dedicó gran parte de su trabajo más reciente es ¿cómo lidian los vegetales con el problema de la competencia y, al mismo tiempo, el de la defensa contra

sus predadores y parásitos? Estos temas los abordó con múltiples enfoques, desde el molecular hasta el ecosistémico, demostrando que los vegetales exhiben una amplísima gama de respuestas a la disyuntiva de destinar recursos a crecer y propagarse, y a defenderse. En este campo, fue pionero en demostrar que, frente a la necesidad de enfrentar ambos problemas, las plantas menos tolerantes a la falta de luz invierten mayores recursos en su crecimiento, en desmedro de la defensa.

La realidad, sin embargo, es mucho más compleja de lo que esta breve reseña permite. El balance entre el crecimiento y la defensa va mucho más allá de una dualidad sencilla de costo-beneficio, e involucra un sinnúmero de condiciones y forzantes intrínsecos y ambientales cuya interpretación lo obligó a recurrir a herramientas genéticas, fisiológicas, genómicas, bioquímicas y ecológicas.

Desde hace dos décadas, el grupo de investigación que lidera Carlos Ballaré también ha trabajado activamente sobre la radiación ultravioleta, tanto en su calidad de factor de stress directo, como en calidad de modulador de las respuestas de las plantas a otras variables ambientales. En colaboración con colegas de los Estados Unidos, estudió los efectos de la disminución de la capa de ozono en Tierra del Fuego, el único lugar de Argentina afectado por este fenómeno. Los resultados de estos trabajos fueron de gran importancia para entender no solamente cómo esta radiación afecta a las plantas, sino también de qué manera reparan su ADN dañado, y cómo responden los ecosistemas terrestres a esta perturbación abiótica. Sus estudios demostraron que la radiación ultravioleta no solamente afecta el crecimiento de las plantas, sino además genera modificaciones persistentes en sus tejidos haciéndolas menos atractivas y nutritivas para los insectos fitófagos, pero también más resistentes a los organismos patógenos. Estos trabajos fueron los primeros en comprobar que la luz ultravioleta activa el funcionamiento de genes involucrados en la defensa generando la producción de metabolitos específicos. Actualmente, su laboratorio sigue con esta línea de investigación basada en la interacción de la luz ultravioleta y la actividad hormonal, de gran importancia aplicada en la agricultura para el diseño de estrategias tendientes a mitigar los impactos de los parásitos y predadores y mejorar la calidad nutricional de las plantas cultivadas.

En colaboración con los integrantes del laboratorio de su esposa, Amy Austin, también de la Universidad de Buenos Aires, Carlos estudia además los efectos de la luz solar sobre la descomposición de los restos vegetales luego de su senescencia y muerte y sobre el reciclado del carbono. Sus investigaciones demostraron que, en los ambientes secos, la fotodegradación es el factor principal que permite la mineralización de la materia orgánica muerta, en particular la lignina, transformándola en compuestos accesibles a la degradación microbiana y activando la reincorporación del carbono al ciclo de la materia.

Carlos recibió su título de grado (en 1984) y de Maestrado (en 1989) en la Universidad de Buenos Aires, se doctoró en la Oregon State University de Estados Unidos, y continuó su formación postdoctoral en la Utah State University (también en los Estados Unidos). Actualmente es Profesor Titular de las universidades de Nacionales de Buenos Aires y de San Martín, e Investigador Superior del CONICET.

Desde fines de los años 80, Carlos publicó sus investigaciones en más de 130 trabajos científicos en las más prestigiosas revistas de ecología y biología de plantas del mundo, así como en las revistas multidisciplinarias de mayor impacto como Science, Proceedings of the National Academy of Sciences (EEUU), Cell y Nature, entre otras, que han sido citados más de 10 mil veces por sus colegas. Fue orador invitado en reuniones científicas en Latinoamérica, Estados Unidos, Australia y unos 10 países europeos.

No hay duda que Carlos es un especialista de primer nivel en el mundo. Sus trayectoria fue reconocida con numerosas distinciones internacionales y nacionales, incluyendo el premio a los 50 líderes latinoamericanos del nuevo milenio de CNN y Time (1990), la beca Guggenheim (2001), el premio Konex (2013), el Georg Forster Research Award de la fundación Alexander von Humboldt (2017), y muchas otras. Fue miembro de los comités editoriales de varias revistas de primer nivel, y actualmente es editor en jefe de la revista internacional Oecología.

Es un honor y un orgullo para esta Academia tener a Carlos Ballaré entre sus miembros, quien a continuación nos brindará un resumen de sus 40 años de experiencia investigando y formando discípulos en el conocimiento de la luz y las plantas.

Demetrio Boltovskoy

Incorporación del Dr. Gabriel Rabinovich como Académico Titular (27 de agosto de 2021)

Presentación del Dr. Gabriel Rabinovich



Es un honor para mí y me da una gran alegría presentar a Gabriel Rabinovich en esta Academia. Gabriel nació en Córdoba y se graduó como Bioquímico en la Universidad local en 1993 y como Doctor en Bioquímica (especialidad Inmunología) en la misma universidad en 1999. Posteriormente siguió un entrenamiento posdoctoral en la Universidad de Buenos Aires. Actualmente es Investigador Superior del CONICET y Profesor Titular de Inmunología en la FCEN de la UBA. Dirige el Laboratorio de Inmunopatología y Glicobiología translacional en el Instituto de Medicina y Biología Experimental (IBYME) dependiente del CONICET en BsAs.

Gabriel es miembro de varias academias científicas, como la National Academy of Sciences de los EE.UU. (2016), la World Academy of Sciences (TWAS, 2015), la Academia Latinoamericana de Ciencias (ACAL, 2017), La Academia Nacional de Ciencias (Córdoba, 2013) y desde el año pasado de nuestra Academia Nacional de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Ha recibido numerosísimos premios nacionales e internacionales como el de la Fundación Bunge y Born para jóvenes investigadores en 2005 y para investigadores formados en 2014, el de la Fundación Konex de Platino en 2013 y de Investigador de la Nación en 2017, el Consagración de nuestra Academia en 2018 y el Eduardo Charreau por Excelencia en la Cooperación Científica en Latinoamérica (2020). Gabriel obtuvo además el Premio de The World Academy of Sciences en Medicina en 2010 y el del Cancer Research Institute de Nueva York en 2005. Recibió la beca de la John Simon Guggenheim Foundation en 2006.

Es miembro del Editorial Board de innumerables revistas del más alto prestigio en su especialidad como Science Advances, Journal of Immunotherapy of Cancer, Glycobiology, Cell Death and Differentiation y no sigo porque la lista es larguísima. Ha sido profesor invitado en la Universidad de Paris, el Dana Farber Cancer Institute y muchas otras instituciones. Ha sido conferencista invitado en numerosísimos congresos internacionales y organizados muchos eventos similares y recibido generosos subsidios

nacionales y extranjeros de fuentes tanto públicas como privadas de Argentina, USA, Japón, Reino Unido, y Francia.

Ha obtenido 11 patentes internacionales, 8 de las cuales han sido licenciadas. Ha dirigido 22 Tesis Doctorales y sus ex-discípulos dirigen actualmente grupos de investigación en Mendoza, San Luis, Córdoba y Salta.

Si pasamos ahora al trabajo científico de Gabriel, diremos que él ha identificado la función de galectinas, que son una familia de proteínas que reconocen y unen estructuras de hidratos de carbono en especial aquellas que tienen galactosa, en sistemas inmunes y vasculares. Ha demostrado que galectinas endógenas pueden conducir información codificada por estructuras de oligosacáridos en programas regulatorios, sirviendo como punto de control para limitar la inflamación, suprimir patologías autoinmunes, promover la tolerancia entre el feto y la madre y permitir a células tumorales y microorganismos evadir la respuesta inmune promoviendo simultáneamente la formación de vasos sanguíneos. Los trabajos de Gabriel Rabinovich y su equipo permitieron el diseño de nuevas terapias basadas en la manipulación de la interacción entre las galectinas y los oligosacáridos en diferentes condiciones patológicas y el establecimiento de nuevas plataformas translacionales dependientes en tecnologías basadas en galectinas. Recientemente, en respuesta a la pandemia causada por el virus SARS-CoV-2, Gabriel y su equipo desarrollaron una plataforma para medir la memoria específica del virus en las respuestas de los linfocitos T en personas vacunadas y convalecientes de la enfermedad.

Dr. Armando Parodi

HOMENAJES

**Homenaje de la ANCEF N al
Dr. Alejandro Jorge Arvía
Fundador de la electroquímica moderna en el país
y
Presidente de la ANCEF N en 2004-2008**



El acto de homenaje, coordinado por la Dra. Norma Sbarbati Nudelman, tuvo lugar el 11 de junio de 2021 a las 18 hs. de manera virtual y fue difundido por el canal Youtube de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales (<https://www.youtube.com/watch?v=sp0H1okCPp8>).

La apertura estuvo a cargo del Presidente de la ANCEF N, Dr. Víctor A. Ramos quien, luego de unas palabras de bienvenida, dió lectura a una nota enviada por el Prof. Dr. Pierre Lená de la Academia de Ciencias de Francia, que se transcribe a continuación.



Pierre Lená

Academia de Ciencias de Francia

Conocí al Profesor Arvía en 2005, cuando la Academia de Ciencias de Francia estaba desarrollando fuertes conexiones con Academias de ciencia en Latinoamérica, especialmente en Argentina, Brasil, Chile, Colombia, México, y Perú, tanto en cooperaciones bilaterales, como a través de IANAS. Nuestro foco común fue renovar la educación en ciencias para niños y jóvenes, a través de un movimiento basado en la indagación. Este movimiento internacional fue

desarrollado por líderes como Georges Charpak y Yves Quééré (La main à la pâte) en Francia , Bruce Alberts (NAS) en USA, Jose Allende en Chile y otros científicos prominentes.

El Prof. Arvía inmediatamente sintió que beneficiaría a su país formar parte de esta gran movilización. Él pudo, con su fuerte apoyo como Pte. de la ANCEF N, organizar reuniones en Buenos Aires, y talleres de capacitación para los maestros. Yo tuve el privilegio de viajar con él a Resistencia (Chaco) y a Corrientes para esos talleres. Nunca olvidaré sus apasionadas palabras para explicar la necesidad de ayudar a los niños en la escuela, cautivos en la pobreza, y ayudarles a implementar la educación en ciencias como una herramienta para que estos niños puedan abrirse a la belleza de entender los fenómenos naturales, y brindarles confianza en sus jóvenes inteligencias en desarrollo. Así comenzó una muy duradera actividad de la Academia en educación en ciencias, que sigue siendo desarrollada por mi amiga, la Dra Norma Nudelman.

Alejandro fue un científico brillante y una persona sensible, siempre lo recordaré.

A continuación, la Académica Norma Sbarbati Nudelman, coordinadora del acto, agradece, en primer lugar, a los oradores que aceptaron inmediatamente la invitación, y a toda la audiencia que está participando desde distintos lugares, en lo que llamó una ...celebración de la vida de Alejandro Jorge Arvía, quien tuvo gran impacto en la ciencia de nuestro país.

La propuesta fue hacerlo como un “conversatorio”, transitando las diversas facetas, que fueron muchas. Siguiendo el orden establecido en el Programa, invitó al Académico Correspondiente Dr. en Química Walter Triaca, para que hable brevemente de los comienzos de Arvía, al regresar de su post-doc en el exterior.



LOS COMIENZOS...

Walter E. Triaca

Académico Correspondiente ANCEF N

En primer lugar, deseo agradecer al Presidente de la Academia, Dr. Víctor A. Ramos y a la Coordinadora Dra. Norma Nudelman, su invitación para participar en este homenaje al Dr. Alejandro Jorge Arvía, quien fuera mi maestro en la investigación científica y, en lo personal, un gran amigo.

El Dr. Arvía se inició en la investigación científica en 1954 trabajando en el estudio de la cinética de reacciones de compuestos fluorados en fase

gaseosa bajo la dirección del Prof. Hans Schumacher en el viejo Instituto Superior de Investigaciones (ISI), hoy Instituto de Investigaciones Fisicoquímicas Teóricas y Aplicadas (INIFTA), que dependía en esa época de la entonces Facultad de Química y Farmacia de la Universidad Nacional de La Plata (UNLP). Posteriormente, en 1957, realizó una estadía postdoctoral en la Universidad de Northwestern, en EE.UU, trabajando en la química de las radiaciones y en aspectos electroquímicos bajo la dirección del Prof. Malcolm Dole.

Hasta principios de la década de 1950, la mayor parte de los trabajos de investigación en el campo de la Electroquímica se centraban en los aspectos termodinámicos de la interfase electrodo/electrolito, mientras que los procesos electroquímicos, esto es, cuando ocurren procesos dinámicos de transferencia de electrones en esa interfase bajo un potencial aplicado, se trataban muchas veces como casos especiales del apartamiento de las condiciones de equilibrio termodinámico. Esto es un hecho curioso porque ya desde varias décadas atrás era habitual el tratamiento cinético molecular de las reacciones químicas e inclusive la reacción de Butler-Volmer, que rige los procesos electroquímicos activados, había sido ya formulada en 1924. Recién durante la década de 1950, los trabajos pioneros de J.O'M. Bockris y B. Conway en EE.UU y en Canadá, respectivamente, y de V. Levich en la ex Unión Soviética, enfatizaron la importancia del tratamiento cinético molecular de los procesos electroquímicos y es precisamente en esa área, donde el Dr. Arvía a su regreso a Argentina, reorientó sus trabajos de investigación. A tales fines, instaló su primer Laboratorio de Electroquímica en un espacio de reducidas dimensiones en lo que antes había sido un pasillo del edificio del viejo ISI.

En esa etapa inicial, el Dr. Arvía tuvo la lucidez y la capacidad organizativa para formar un equipo de investigación integrado por graduados jóvenes de la Facultad, a quienes supo motivar para trabajar con entusiasmo, esfuerzo y dedicación total en sus tesis doctorales, realizadas bajo su dirección. La mayor parte de sus primeros discípulos (J.S.W. Carroza, J.A. Bolzán, J.C. Bazán, W.E. Triaca, H.A. Videla, J.J. Podestá, S.L. Marchiano, M.C. Giordano, M.E. Martins, F. de Vega y D. Posadas) alcanzaron, posteriormente, las más altas posiciones académicas en universidades del país. Otros de sus discípulos iniciales se incorporaron a la industria, ocupando altos cargos gerenciales en Afga-Gevaert Argentina S.A. (H. Vandebroele) y, particularmente, en la empresa ALUAR S.A.I.C. (A.J. Calandra, C. E. Castellano, J. Wargon), donde introdujeron procesos innovativos en la industria del aluminio.

En esa época de la década de 1960 surgen sus trabajos pioneros sobre el mecanismo y la cinética de procesos electroquímicos en sales fundidas, la influencia del transporte de materia en el proceso electroquímico global sobre electrodos de distinta geometría, y la corrosión de materiales y su prevención.

Cabe destacar que todos estos estudios se realizaron empleando las técnicas más modernas de la época, como las de pulsos potenciodinámicos, voltamperometría cíclica, electrodo de disco y anillo rotantes, celdas de flujo y otras, utilizando equipos electrónicos, tales como potencióstatos y generadores de función que, aunque no tan sofisticados como los actuales, fueron diseñados y construidos íntegramente en el país por el Ing. G. Paús y sus colaboradores del Departamento de Electrónica de la Facultad de Ingeniería de la UNLP.

Todos los trabajos de la etapa inicial fueron publicados en las revistas especializadas de mayor jerarquía, alcanzando el reconocimiento de sus pares a nivel internacional, que lo designaron miembro del Comité Internacional de Termodinámica y Cinética Electroquímica (CITCE). En nuestro país recibió, entre otras distinciones, el Premio Nacional de Química "Provincia de Santa Fe" (1970), el Premio Sociedad Científica Argentina (1973), el Premio de Ciencia de la Provincia de Buenos Aires (1974), el Premio J.J. Kyle de la Asociación Química Argentina (1982) y el Diploma al mérito de los Premios Konex en Ciencia y Tecnología (1983).

Así, luego de esa etapa fundacional, el Instituto se transformó rápidamente en un Centro de Excelencia en Electroquímica Avanzada y fue un polo de atracción para graduados e investigadores de universidades del interior de nuestro país y de otros países de Latinoamérica, que realizaron sus tesis doctorales o estancias postdoctorales en el INIFTA bajo su dirección, pero ésta es otra historia a la cual se van a referir los siguientes expositores.

En la etapa comprendida entre 1984 y 1994, el Dr. Arví se distinguió por sus trabajos seminales sobre electrodos con estructuras superficiales y morfologías bien definidas, ya sea facetados o monocristales, y su comportamiento en procesos electrocatalíticos. Por otra parte, a partir de 1986, sus estudios sobre la caracterización de las superficies de electrodo a nivel nanométrico, empleando las técnicas de microscopías de efecto túnel (STM) y de fuerza atómica (AFM), que fueron publicados en revistas tan prestigiosas como *Nature*, *Langmuir* y *Journal of Physical Chemistry*, tuvieron una alta repercusión en el medio científico internacional. En ese período recibió numerosas distinciones y condecoraciones tanto por su trabajo científico como por su labor en la cooperación internacional, entre ellas, la condecoración del gobierno de Francia como Chevalier de la Orden "des Palmes Académiques" por su tarea en la cooperación científica internacional (1985); la J. Heyrovsky Medal (distinguished scientist) de la Academia de Ciencias Checa (1990) y la TWAS Medal Lecture de la Third World Academy of Sciences (1997). A estas distinciones se le pueden sumar en el orden nacional, entre otras, el Premio Hans Schumacher de la Asociación Química Argentina al investigador argentino más destacado en el campo de la Fisicoquímica (1992) y el Premio Bunge y Born (1994).

Ya en la década de 1990 su prestigio científico era tal, que fue elegido, por votación unánime de sus pares, como Presidente de la International Society of Electrochemistry (ISE) por el período 1993-1995 y, pocos años después, en el 2000, recibió la Electrochimica Acta Gold Medal otorgada por Pergamon Press por "la mayor contribución a la Electroquímica en los años recientes". En 2002 la Sociedad de Química Italiana lo distinguió con la Luigi Galvani Medal en reconocimiento por su trayectoria en la Electroquímica y en 2007 recibió el Premio Scopus como el científico argentino más citado.

Tuve el honor de acompañarlo entre 1988 y 2003 como Vicedirector durante su gestión en la Dirección del INIFTA, donde pude apreciar sus dotes ejecutivas, su claridad conceptual en la discusión de ideas con otros colegas y su energía para trabajar sin descanso tanto en la actividad científica como en la gestión y promoción de la ciencia, pero principalmente, siempre lo admiré por su comportamiento humano y ético.

Por último, deseo recordar a Jorge, no sólo por su faceta científica, sino particularmente como un gran amigo que, en momentos difíciles de la vida universitaria, supo darme las palabras de aliento y el estímulo necesario para seguir adelante en la investigación científica.

Para comentar sobre el impacto de Arvía en la ANCFN, invito al Académico Titular, Dr. en Física Mario Mariscotti, quien precedió a Arvía en la Presidencia de la ANCFN, y que, entre otras cosas, comentó cuánto le ayudó para ejercer esa responsabilidad.



**IMPACTO EN LA ACADEMIA NACIONAL DE
CIENCIAS EXACTAS, FÍSICAS Y NATURALES**

Mario Mariscotti

Académico Titular ANCFN

Agradezco la oportunidad de participar de este acto en homenaje al Dr. Alejandro Jorge Arvía.

Me parece que la mejor manera de recordarlo es contando mi relación con él cuando me hice cargo de la presidencia de la Academia, porque me brindó invaluable ayuda y porque en esas circunstancias pude apreciar mejor el valor de sus contribuciones a la Academia y a la ciencia argentina.

Su colaboración fue en una variedad de cuestiones, pero hay una en la cual su esfuerzo, dedicación y compromiso tuvo un impacto singular y me limitaré a hablar de ésta por razones de tiempo.

Me refiero a la actuación de Arvía como presidente de la Comisión Especial de Política Científica que se creó en 1994. Además de él, esta Comisión estuvo integrada por los académicos Daniel Bes, Rosendo Pascual, Alberto Pignotti (de quien lamentamos su reciente fallecimiento), Carlos Segovia y Andrés Stoppani.

La palabra “especial” en el nombre de la Comisión hay que atribuirla a su carácter temporal, pero también, y especialmente, al hecho que aquellos años fueron “especiales” para la ciencia y la tecnología en la Argentina. Esta comisión se creó para proponer pautas para una Ley de Ciencia y Técnica.

A poco de andar, mediados de 1994, se dio a conocer un informe del Banco Mundial que recomendaba, entre otras cosas, la privatización del CONICET y de una parte de la CNEA.

La Comisión Arvía reaccionó de inmediato y decidió proponer al plenario que la Academia emitir un comunicado advirtiendo sobre las consecuencias nefastas que tendría una privatización del CONICET. Tan oportuna fue esta declaración que el diario La Nación le dedicó una nota de un cuarto de página el 7 de septiembre de 1994 dando crédito a la Academia. La privatización del CONICET afortunadamente no ocurrió (como sí ocurrió la fragmentación de la CNEA), y si bien no es posible medir el grado de influencia que tuvo la Academia en esa ocasión es legítimo pensar que fue significativa. Podríamos decir que de la Academia nació el CONICET (en 1958) y de la Academia surgió su oportuna defensa en momentos críticos.

En septiembre de 1995 el documento de la Comisión Arvía salió a la luz bajo el título “Consideraciones y Pautas para una Ley Marco de Ciencia y Técnica”, un documento conciso con definiciones muy precisas y oportunas acerca de ciencia básica y tecnología y una propuesta disruptiva: la conversión del CONICET en un CONIC (para la investigación Científica) y un CONDIT (para el desarrollo e Innovación Tecnológica). Recuerdo que en ese momento tuve ciertas dudas respecto a esto último, pero respeté el criterio de la comisión. Hoy día lo suscribiría sin reservas.

En retrospectiva, se puede ver que un documento de esta naturaleza respondía a una inquietud general a juzgar, de nuevo, por el eco que tuvo en la prensa. Pocos días después, en octubre, La Nación le dedicó un cuarto de página bajo el título “Crece la preocupación por el manejo científico: piden una ley” y más abajo: “La Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales presentó pautas para una norma marco que propone crear organismos autónomos de investigación y desarrollo”. Y un mes después apareció un artículo de dos páginas en Clarín señalando en su encabezamiento que “el desarrollo científico de la Argentina necesita una evaluación permanente y un mejor aprovechamiento de los recursos económicos existentes y sobre

ambas bases se sustenta un proyecto de ley para la actividad científica que la Academia Nacional de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales acaba de presentar a los legisladores”.

Recuerdo que, en septiembre de 1995, en una reunión en Oxford con parlamentarios británicos, malvinenses y argentinos para discutir Malvinas, durante un desayuno Eduardo Menem, entonces senador, se sentó a mi lado y muy diplomáticamente me preguntó la opinión sobre el secretario de CyT y la política de CyT, sin duda otra muestra de la influencia del trabajo de la comisión Arvía.

La historia de la Comisión Arvía no terminó allí. El 1 de noviembre de 1995 salió un decreto, el 627/95, impulsado por el Dr. Liotta, entonces Secretario de CyT, que desvirtuaba el carácter descentralizado del CONICET. Nuevamente la Comisión Arvía intervino y la Academia sacó una nueva declaración que también se reflejó nuevamente en los diarios: el 3 de enero de 1996 un artículo a dos columnas en La Nación y más tarde, el 3 de febrero, la pieza editorial de ese día dice: “La Academia Nacional de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales en un pronunciamiento reciente rechazó la nueva organización del CONICET...y sostiene que el decreto 627/95 ...vulnera los principios que orientaron la creación del organismo, en 1958, por iniciativa de Bernardo Houssay”.

Yo tengo un gran reconocimiento por lo que Arvía hizo en la Academia, lo que he relatado es sólo un episodio. Luego él fue presidente y como tal desarrolló una actividad muy fructífera y sin duda prestigió a la institución.

Es mucho lo que tenemos para agradecerle. En un plano más personal lo recuerdo como una persona que inspiraba mucho respecto, tanto que nos llevó muchos años saltar la barrera del tuteo. Era riguroso, serio, muy responsable en relación a los compromisos que asumía y en cierto modo distante. Por eso un día me sorprendió al pedirme que le diera mi opinión sobre un libro de filosofía y religión. Me sentí honrado que una persona tan cuidadosa, prudente, respetuosa y hasta ese momento limitada en su trato a lo académico, se acercara a mí con algo totalmente ajeno a la academia. Me conmovió reconocer tras esa personalidad tan firme y seria, una veta humanística de gran sensibilidad”.

Otro aspecto descollante fue la pasión de Arvía por la educación. La Académica Norma Nudelman recordó las palabras de Arvía a fines del 2004. A pocos días de su ingreso a la Academia, Arvía le dijo “Norma, quiero que me ayudes a hacer algo por la educación. Los Estatutos de la ANCEF N establecen que debemos contribuir a mejorar la Educación en Ciencias, pero en sus casi 200 años no se ha hecho nada todavía”. Así comenzó el Programa que

llamamos HaCE (Haciendo Ciencia en la Escuela), aplicando una pedagogía innovadora, desarrollada pocos años antes en Francia y EEUU, la ANCEFN brinda talleres experimentales para docentes de los 3 niveles de escolaridad: primaria, secundaria y técnica. En los inicios fue muy importante el aporte de la Academia de Ciencias de Francia, (como recuerda en su carta el Dr. Pierre Léna), y el último taller fue del 4-8 de marzo, 2020, en Pigué (Provincia de Buenos Aires).

El Académico Jaim Etcheverry completa la sembanza de Arvía y la Educación.



ALEJANDRO ARVÍA, EL MAESTRO

Guillermo Jaim Etcheverry

Presidente de la Academia Nacional de Educación

Junto con su vocación científica, la preocupación por la educación y su compromiso por mejorarla, signaron la vida de Alejandro Arvía. Enseñó en todos los niveles y en cada una de sus experiencias docentes se preocupó por transmitir a sus alumnos el método científico siguiendo los preceptos de Galileo. El ingeniero Horacio Reggini, en oportunidad de presentarlo ante nuestra Academia Nacional de Educación, definió así ese método: "Hacer teoría con datos de la experimentación científica, y demostrar con experiencias la validez de esas teorías". Reggini señaló en esa oportunidad que Arvía "buscó siempre exponer los temas a sus alumnos de la manera más sencilla y convincente. Su interés ha sido despertar permanentemente la curiosidad del alumno y motivar su creatividad. Por eso su relación con ellos se ha revestido de un carácter informal, aunque no exenta de mutuo respeto. Con su proceder despertó múltiples vocaciones juveniles. Con los años, un número apreciable de estos jóvenes compartió su actividad académica, tanto en la investigación científica como en la docencia".

Arvía entendía al estudio y la enseñanza como trabajo personal comprometido. Fue un innovador que aplicó muy precozmente metodologías poco ortodoxas cuando enseñó en el Colegio Nacional de la Universidad de La Plata y en la Escuela Industrial de la Nación N° 2, también en La Plata, a la que concurría de noche, en carácter ad-honorem, luego de trabajar en el laboratorio.

A propósito de esas metodologías que escapaban a lo habitual, Reggini relata un episodio ocurrido cuando Arvía ya era profesor titular en la Facultad de Ciencias Exactas de la Universidad de La Plata, donde dictaba el curso de Ingeniería Electroquímica destinado a alumnos del doctorado en Química y

de la carrera de Ingeniería Química. “Acostumbraba a reunirse con los alumnos para aclarar cuestiones de la cátedra, y entre estas, tenía una jornada de consulta algunos días antes de cada examen final. En una de esas ocasiones, la experiencia consistió en reunirse con los alumnos en torno a una mesa e iniciar una conversación invitando a formular preguntas y dudas. A cada duda o pregunta solicitaba a cada alumno que brindara su opinión sobre la cuestión. Se generaba así, en un ambiente relajado, un interesante intercambio y discusión en donde cada duda y cada pregunta eran aclaradas por los mismos alumnos. Después de varias horas, y con gran sorpresa de los asistentes, surgió una propuesta del docente que no estaba prevista en los reglamentos y que consistía en ponerles la nota del examen final que acababa de tomarles. De no aceptarse la propuesta, la alternativa era tomar el examen de la manera establecida por la Facultad en la fecha correspondiente. Los alumnos aceptaron el primer temperamento. Esta experiencia demostró cuánto más puede rendir un alumno en ausencia del nerviosismo que genera la forma convencional de examen”.

Como es lógico, Arvía hizo sus principales contribuciones a la docencia durante su larga trayectoria en el Instituto de Investigaciones Físicoquímicas Teóricas y Aplicadas (INIFTA) y en la ya citada Facultad de Ciencias Exactas de la Universidad de La Plata. Por ese Instituto pasaron numerosos becarios, tesistas, posgraduados de las universidades de la Argentina, de Latinoamérica y de países de Europa, Asia y África, muchos de los cuales continúan trabajando en el INIFTA y en centros académicos e industrias del país y del exterior.

Profesor en varias universidades de la Argentina, Arvía consideraba que la educación era un proceso continuo. Decía: “La educación, como tal, debe ofrecer una cosmovisión a la juventud y al hombre en general para que asuman la responsabilidad de llegar a ser ellos mismos. Esto se alcanza a través de la comunicación entre las personas y se inicia con el aprendizaje y el uso del lenguaje oral y escrito, la enseñanza de la lectura y la ejercitación en la comprensión de textos. Este aspecto liminar de la educación es fundamental para cualquier aprendizaje posterior, incluyendo la enseñanza de las ciencias”.

Precisamente, la enseñanza de las ciencias era para Arvía una cuestión fundamental. Consideraba que: “Para que el hombre pueda afrontar su compromiso con la realidad en el mundo de hoy, es insoslayable el conocimiento de las ciencias, para lo cual es imprescindible el manejo de la palabra y la capacidad de observación. Conviene también reconocer los límites de la verdad en las ciencias y la tendencia creciente hacia la búsqueda de universalidades. Es preciso prestar atención a la necesaria armonía que debe lograrse entre contenido y metodología... La enseñanza de las ciencias – decía – es un medio de ayuda para el crecimiento cultural de la sociedad”. Sostenía que “La persona se realizará y proyectará buscando la verdad a través de las

Ciencias de la Naturaleza, y podrá decir: puesto que conozco, sé, y sabiendo, puedo escoger. Será el encuentro con la libertad comprometida con el sentido de responsabilidad en el uso del conocimiento científico“.

Esa educación en ciencias constituyó su principal preocupación y participó en numerosos programas destinados a mejorarla. Consideraba que: “La educación en ciencias como parte de la educación general contribuirá, en primer lugar, a la formación de ciudadanos pensantes”. Al igual que Sarmiento se preguntaba: “¿Cómo se sustentará la democracia de un país si gran parte de su población no podrá alcanzar un nivel de educación tal que le permita actuar a cada habitante como ciudadano responsable”? Afirmaba que: “El progreso y bienestar del país dependerá de cuanto nos ocupemos de la formación de los ciudadanos para llegar a constituir un pueblo pensante capaz de acceder a ser, no solo a parecer. Esto se puede lograr únicamente a través de la cultura. Entonces el desarrollo cultural de la persona se alimenta de la educación. La cultura hace que la vida merezca la pena de ser vivida. Es el camino que la persona debe recorrer en la realidad total para llegar al conocimiento de sí misma”.

La formación docente le preocupaba especialmente y dirigió varios cursos de perfeccionamiento para profesores de Química de la escuela secundaria organizados por el CONICET. Durante esos cursos intensivos, los profesores se familiarizaban con la lectura de libros de texto de última generación y realizaban una muy intensa práctica de laboratorio. En relación con la formación de profesores de ciencias Arvía afirmó: “La enseñanza de la ciencia necesita también de educadores que conozcan la ciencia no sólo por la lectura de un libro sino por haberla aprendido con el manejo de sus propias manos realizando experimentación científica galileana. Esto último es imprescindible para adquirir seguridad y perder el temor al fracaso en la experimentación, especialmente frente al educando. Entre nosotros, lamentablemente, se le ha prestado poca atención a esta faceta de la formación del docente. Tradicionalmente, tanto en la formación docente como en su posterior actualización se han atendido con preferencia los aspectos relacionados con las metodologías de la enseñanza de la ciencia, prestándose menor atención a la formación y contenido científico del educador. La razón de esta distorsión obedece a múltiples causas, entre ellas al divorcio de los institutos de formación de profesores de los centros universitarios en los cuales se realizan buenas investigaciones científicas. A lo largo de años de interrelación con docentes de ciencias de diferentes niveles he llegado a la conclusión que es más difícil alcanzar el bagaje de conocimiento científico necesario para el educador, y mantenerlo actualizado, que discutir las diferentes propuestas metodológicas de enseñanza de las ciencias, sobre las cuales se han escrito muchos libros y se han manifestado modas de dudoso valor didáctico. Si bien es deseable para la enseñanza de las ciencias una armonía entre contenidos y metodologías, una metodología con contenido pobre no ayuda a la formación del educando, más bien lo frustra. También es

cierto que la inversa tampoco es buena, aunque en razón de las dificultades que cada una ofrece, esta situación es más fácil de remediar”.

No escapaba a su aguda observación del proceso educativo la trascendencia de una cuestión que no ha perdido actualidad: la evaluación de los aprendizajes. Decía: “¡Qué importante sería volcar esfuerzos para informar anualmente a la sociedad acerca del nivel de excelencia o de calidad educativa de las escuelas, colegios y universidades oficiales y privadas del país! Una acción de este tipo debería avalarse con instituciones independientes de los avatares políticos tales como Academias Nacionales, Organizaciones Internacionales, Centros de Excelencia en distintas disciplinas, etc. Contar con ese marco de referencia resultaría un espléndido servicio para alumnos talentosos en su búsqueda de lo mejor para concretar su propia vocación. También constituiría un incentivo para la imaginación de los docentes en su tarea de generar propuestas que permitirían enaltecer la calidad educativa de cada establecimiento. Se promovería así una franca y saludable competencia que, respetando situaciones y modalidades locales, redundaría en beneficio de la sociedad. La uniformidad en la educación de un pueblo conduce inexorablemente a su mediocridad”.

Arvía sostuvo que el gran desafío de la humanidad es educar a hombres y mujeres para que sean seres humanos felices. Decía: “Educar para conocernos a nosotros mismos y al otro, tanto al que está cerca como al que está lejos; para realizarnos con gusto y apreciar el progreso en todas sus facetas, para sentirnos partícipes de la aventura del hombre sobre el planeta, para comprender el mundo que nos rodea con sus alegrías y torpezas, para apreciar la historia y sus actores sin desmedro de nuestra propia contribución a ella, para vislumbrar un futuro mejor, con libertad para amar, para pensar, para expresar ideas y creencias, para relacionarse respetuosamente con quienes piensan diferente, para establecer un patrón ético”.

Esta breve evocación del ideario educativo de Alejandro Arvía (ver nota), permite advertir que, además de un científico destacado, fue un maestro comprometido con la tarea docente. Así lo demuestra su genuina preocupación por el futuro de la educación a la que concebía como una herramienta fundamental para el desarrollo de los ciudadanos y de la sociedad.”

Otra faceta admirable de Arvía, fue su generosidad en difundir la electroquímica moderna en muchos centros del interior del país. El Dr. Vicente Macagno, de la Academia Nacional de Ciencias de Córdoba, se refiere al Arvía Federal.

Nota: Las citas de Alejandro Arvía han sido extraídas de su conferencia: “Enseñanza de las ciencias y educación de la sociedad”, pronunciada en oportunidad de su incorporación a la Academia Nacional de Educación el 2 de agosto de 2004 (Boletín de la Academia Nacional de Educación, No. 57, agosto de 2004, pp. 22-27) (<http://acaedu.edu.ar/BibliotecaDigital/BoletinAneAnterior/boletin57.pdf>). Las citas de Horacio Reggini corresponden a las palabras que pronunció en esa ocasión al presentar al nuevo académico.



ARVÍA Y SU NOTABLE INFLUENCIA EN EL DESARROLLO CIENTÍFICO DEL INTERIOR

Ezequiel P. M. Leiva

Vicente A. Macagno

Academia Nacional de Ciencias (Córdoba)

El Dr. Arvía tuvo un impacto notable en el desarrollo federal de la ciencia en general y de la Fisicoquímica y la Electroquímica en particular. El ejemplo más evidente es lo ocurrido en Córdoba, pero sucedió también en otros lugares del interior del país con la formación de recursos humanos y el desarrollo de diversos centros de investigación.

El impacto de su vasta trayectoria en la comunidad científica del interior del país y de Córdoba en particular, comprende varios niveles. Desde su rol institucional, pasando por su aporte científico y llegando al aspecto humano; todos estos aspectos han sido igualmente valiosos en la repercusión de su obra en esta comunidad.

Tanto en su carácter de Director del INIFTA como desde el Directorio de CONICET, realizó una incansable tarea en la organización de Cursos, Conferencias, Centros de Investigación y Reuniones Científicas. En este último caso, se trató de encuentros nacionales e internacionales, que fueron de una gran valía en el interior tanto para los investigadores formados, permitiéndonos el contacto con personalidades internacionales y la puesta al día de las últimas novedades en diferentes áreas, como para los investigadores en formación, en el posgrado y en etapa posdoctoral. Estas contribuciones fueron particularmente valiosas desde épocas más lejanas, donde los viajes internacionales no tenían la accesibilidad que tienen en el presente, hasta épocas relativamente más recientes, donde las cíclicas dificultades económicas para la financiación de actividades científicas pudieron haber hecho mucho más mella en nuestro trabajo.

Otro hecho relacionado con la facilitación de acceso de nuestros investigadores a diferentes tipos de soportes como becas y ayudas económicas lo tuvo su rol como asesor de la UNESCO y de la OEA, como presidente de la Sociedad Internacional de Electroquímica y como vicepresidente de la Academia de Ciencias del Tercer Mundo. Se puede resumir su labor en este ámbito institucional afirmando que su trabajo como Director del INIFTA hizo de este Instituto el faro que iluminó el camino de muchos de nuestros investigadores y, a la vez, un oasis en épocas difíciles.

Pero, sin dudas, la formación de recursos humanos es lo que ha tenido más relevancia en su larga trayectoria. Habiendo dirigido/codirigido en forma

directa o indirectamente, alrededor de 90 trabajos de tesis de grado y de doctorado en Universidades Argentinas, unos 20 del interior. Muchos de estos investigadores, habiendo finalizado el doctorado, volvieron a sus lugares de origen; otros, en cambio, se radicaron en el interior en otras universidades. Así, sin nombrar a todos por lo extenso de la lista y el riesgo de olvidos, podemos recordar algunos casos: Julio Bazán, en Bahía Blanca, Abel Chialvo en Santa Fe y M. Cristina Giordano en Córdoba. A ellos se agrega una larga lista de doctorados provenientes de Tucumán (fueron varios), Cuyo, Jujuy, Corrientes, Santa Fe, Pcia. de Buenos Aires, entre otros. Todos ellos siguieron adelante con sus trayectorias científicas con éxitos variados. Muchos son muy reconocidos a nivel nacional o internacional. Arvía fue el motor que impulsaba; lo demás dependió de la capacidad y decisión de cada uno, así como de los medios y del ambiente de cada lugar.

En lo concerniente a la formación de recursos humanos, para nosotros en Córdoba, quizás el hecho que haya tenido más relevancia (aunque no fue el único, como veremos después) fue la dirección de la Tesis Doctoral de la Dra. María Cristina Giordano, nuestra inolvidable Chuchi. Su formación bajo la dirección del Dr. Arvía redundó en un torrente de investigadores que ella a su vez formó, que nombramos acá para que sus discípulos directos (y de allí el resto de sus numerosos descendientes académicos) puedan rastrear su genealogía académica: (Vicente A. Macagno, Teresa B. Iwasita, Leonídes E. Sereno, Horacio T. Mishima, Carlos P. De Pauli, Beatriz A. López, Roberto Sereno, Velia M. Solís, Manuel López Teijelo, Alberto S. Gioda, Teresa A. Lorenzola, Ana M. Baruzzi, Ezequiel P. M. Leiva, Elizabeth Santos, Osvaldo R. Cámara, Patricia I. Ortiz y Roberto M. Torresi). Número que seguramente se discontinuó por la temprana desaparición de Cristina Giordano. Este árbol se multiplicó en forma exponencial, al punto que no podemos resumir en estas páginas todas las derivaciones que tuvo para la Electroquímica en particular y para la Fisicoquímica en general por todos los investigadores que de allí emergieron. Nombraremos solamente algunas áreas representativas que surgieron fuertemente en el medio cordobés sobre los cimientos plantados en este medio por la Dra. Giordano, con el correspondiente pedido de disculpa por las omisiones involuntarias. Entre otras tenemos, en Electroquímica (EQ): EQ en solventes no acuosos, EQ de óxidos y de los metales válvula, EQ de interfaces líquidas, EQ orgánica y Nanoelectroquímica. Algunos de los mencionados, y/o sus discípulos, reorientaron su carrera y se dedicaron, siendo aún activos, exitosamente a Química Analítica, Química Inorgánica, Química Teórica; Química Computacional; FQ de Superficies; Química de Sistemas Coloidales y de Suelos.

Los especialistas que surgieron del árbol Arvía-Giordano no sólo contribuyeron a la ciencia en la Universidad Nacional de Córdoba; debemos contar también a los que emigraron a otras Universidades del país como Río Cuarto, Santiago del Estero y Bahía Blanca, entre otras e, incluso a otros países. Todo este bagaje demuestra claramente su impresionante legado.

Como se observa, su trabajo en la formación de recursos humanos no repercutió solamente en el ámbito de la Electroquímica de Córdoba, sino que se propagó a la Química y a la Fisicoquímica local extendiéndose, también, a otros lugares del interior.

Otras acciones de Arvía que merecen ser mencionadas son las que impulsó con su visión personal y haciendo uso de diversas posiciones en instituciones de Ciencia y Técnica. Así, promovió y facilitó la generación del Programa de Investigaciones Químicas Río Cuarto para mejorar las actividades de investigación de la joven Universidad. Desde su posición en la Comisión de Investigaciones Científicas de Provincia de Buenos Aires, promovió el desarrollo de la Química y la investigación en la nueva Universidad Nacional de Mar del Plata; y también el desarrollo de la investigación en Fisicoquímica en la UNICEN, sede Olavarría. Propuso la creación del Programa de Electroquímica Aplicada e Ingeniería Electroquímica (PRELINE) en la FIQ, Santa Fe. También contribuyó al desarrollo de la Fisicoquímica en las Universidades Nacionales de Tucumán, de Santiago del Estero y del Sur, entre otras. Es también necesario recordar que el cuerpo de electroquímicos que desarrolló el proceso en ALUAR desde sus comienzos, se formó en sus etapas doctorales con Arvía. Fue merced a sus inquietudes y contactos, que un grupo de investigadores respondió a la convocatoria para trabajar en la incipiente industria del aluminio. Pero, tal vez, el hecho más emblemático en el desarrollo de la Fisicoquímica, y de la Electroquímica en particular, en el interior y sobre todo en Córdoba, fue a comienzos de la década del 80 cuando, desde el Directorio del CONICET, impulsó la creación, primero como programa y luego como unidad de doble dependencia CONICET-UNC, del Instituto de Investigaciones en Físico-Química de Córdoba (INFIQC), que cumplió, recientemente, 38 años. La semilla que implantó Arvía redundó en una de las Unidades Ejecutoras CONICET-Universidad más grandes en número de integrantes y de producción científica del país.

En ese mismo sentido, en este caso como miembro del Executive Committee de la International Society of Electrochemistry, cabe destacar su fuerte impulso para la realización del Annual Meeting de la sociedad en nuestro país, en 1992. Con un marcado sentido federalista, nos otorgó la responsabilidad de organizarlo en Córdoba. Por vez primera, el congreso se desarrolló en América Latina.

Dictó numerosos seminarios/coloquios/conferencias y también fue Director de Cursos de Perfeccionamiento de Profesores de Química de nivel medio organizados por el CONICET, en el interior del país. Su actuación mereció el reconocimiento de numerosas Universidades Nacionales Argentinas; fue Profesor Honorario y/o Visitante en la Universidad Nacional de Córdoba, de Cuyo, del Nordeste, de Tucumán, del Sur, y del Centro de la Provincia de Buenos Aires.

Arvía con su visión y su enorme capacidad de trabajo formó en todo el país una gran cantidad de discípulos en Fisicoquímica. La Química es una disciplina de las Ciencias Exactas y Naturales y comprende, a su vez, varias ramas o subdisciplinas, una de ellas la Fisicoquímica. Como alguien afirmó en alguna ocasión, podemos reafirmar que Arvía logró que exista Fisicoquímica por todo el país; las otras subdisciplinas no tuvieron esa misma visión.

Todo este bagaje demuestra claramente el impresionante legado que nos deja Arvía en los diversos aspectos que comprendió su accionar, en particular la incomparable impronta que dejó en la formación de recursos humanos, en este caso, referido al interior. No es posible describir aquí en este escrito sumario, ni tampoco nos sentimos capacitados para hacerlo, lo que cada uno desarrolló en sus lugares de trabajo. Para ello recomendamos la reciente publicación de la Asociación Argentina para el Progreso de las Ciencias, que incluye una excelente reseña con la recopilación de artículos acerca de A. J. Arvía en homenaje a su desaparición. Allí, también, se presenta el completo árbol científico preparado por Julio Bazán (<https://aargentinapciencias.org/alejandra-jorge-arvia-1928-2021/>).

Finalmente, pero no por ello menos importante, cabe mencionar a todos aquellos que nos beneficiamos al compartir con el Prof. Arvía un laboratorio o una mesa de discusión, los que tuvimos el privilegio de acordar y discrepar, como corresponde hacerlo en la ciencia sobre cualquier temática. Acá quizás es donde está la fibra más interesante para los que nos gusta la labor científica, y que han hecho que el Chief se convierta en nuestro personaje inolvidable. Allí, en esas discusiones, surgía una catarata de ideas, la conexión entre el experimento y la teoría en formas increíblemente sofisticadas. Y todo lo planteaba en forma tan simple y sencilla. Aunque no era tan fácil estar en esta mesa de discusión. O quizás sí, porque parecía fácil ya que él hacía que las conclusiones parecieran obvias pero, cuando uno las pensaba no era tan así. Era como invitar un amigo a jugar un picado en la cancha del barrio. Pero claro, ocurre que ese amigo se llama Diego Armando o Leo, que espera lo mejor de nosotros, y nos pide que juguemos y corramos a su par y no le aflojemos durante 90 minutos....

Los autores de este escrito, a modo de cierre, deseamos dejar, cada uno, nuestro testimonio personal.

Vicente Macagno

Conocí a Arvía en 1965. Estaba terminando de rendir mis últimas materias de la Licenciatura, en Ciencias Exactas de la UBA, cuando M. C. Giordano, quien a su vez estaba finalizando su doctorado con Arvía en La Plata, me invitó a llevar a cabo la tesis doctoral en Córdoba, bajo su dirección y con la supervisión de Arvía. Fue así que iniciamos los trabajos sobre electroquímica de los sistemas haluro/trihaluro/halógeno en solventes no acuosos (en mi caso, con compuestos de Iodo en Acetonitrilo y en los casos de T. Iwasita y de L.E. Sereno con Bromo y Cloro, respectivamente). Desde entonces estuve en contacto con Arvía en forma ininterrumpida. Realicé varias estancias en INIFTA, algunas de varios meses y con el tiempo tuvimos numerosos trabajos en colaboración. Más allá de la actividad científica, me unió a Arvía una estrecha relación personal, que comprendió diversos aspectos de la vida. Desde viajes hasta discusiones sobre ciencia, filosofía, religión, y lo que uno pueda imaginar. Pude compartir su afabilidad, su aprecio, su amistad; así como su bonhomía, su bondad; y también su compañerismo, su confianza, su comprensión; en suma, compartir el abc de la vida misma...

Ezequiel Leiva

Voy a evocar mi último encuentro con el Chief, que fue en Córdoba, en la sala de actos de la Academia Nacional de Ciencias, en la Avenida Vélez Sársfield. Fue la última vez que lo vi, y quizás la que me dejara la impresión más luminosa de todas, esto dicho en el más vasto sentido, como se entenderá a continuación. Me contó, con el entusiasmo que siempre lo caracterizaba, que se había puesto a pensar cómo poner la Fisicoquímica al alcance del entendimiento todos los jóvenes educandos, con un ejemplo sencillo. Y me dijo: “tengo la respuesta, mirando una vela”. Supongo que debo haber fruncido el entrecejo en forma extraña, porque vi que me miraba con esa sonrisa pícaro que siempre esbozaba cuando había encontrado la respuesta a algún interrogante, mucho antes que el interlocutor pudiese ni siquiera intuirlo. “Mirá, en una candela encendida tenés todo: sólido, líquido, gas, interfases, reacciones químicas, transiciones de fase, difusión, convección, conversión de energía, ondas electromagnéticas...”, y, una vez más, la memoria no me alcanza para contar todo lo demás que me dijo. Si está leyendo esto, Maestro, en el más cabal sentido de la palabra, queremos transmitirle con todo nuestro cariño que seguimos su luz, la que espero podamos extender humildemente a la generaciones que siguen.



LA MADUREZ EN EL INIFTA

Dra. María Elena Vela

En el año 1980 ingresé a trabajar en el área de corrosión metálica y protección de metales del INIFTA a cargo del Ing. Jorge Vilche para realizar mi tesis doctoral bajo la dirección del Dr. Arvía. Tal como señala el título de este texto, en ese momento Arvía tenía poco más de 50 años y ya era un científico sumamente reconocido no solo en nuestro país sino también a nivel internacional.

En la división electroquímica del INIFTA éramos alrededor de 60 integrantes entre investigadores formados y becarios. Se vivía un ambiente de trabajo pujante, donde siempre había gente en los laboratorios desde muy temprano hasta tan tarde que el sereno de ese momento nos retaba para que nos fuéramos. Los becarios no eran exclusivamente egresados de la Universidad Nacional de La Plata; había muchos que venían de la FCEN-UBA, del interior del país, de Latinoamérica y luego, a través de la TWAS, de varios lugares del mundo.

Recuerdo las reuniones con Arvía para ponerlo al tanto de los resultados de mis experimentos donde siempre me escuchaba con mucha atención, hacía preguntas que me abrían caminos a nuevos diseños y estrategias experimentales, y me transmitía la sensación de que lo que yo estaba estudiando era algo fundamental para avanzar en el conocimiento del tema en la ciencia de frontera; lo cual me producía un gran entusiasmo para seguir adelante.

Teníamos seminarios internos de la división Electroquímica donde los tesisistas exponíamos el avance de nuestro trabajo o algún tema novedoso relacionado con nuestra área de estudio. Era desafiante atravesar por esa situación porque se hacían muchas preguntas y se discutía mucho lo presentado en esos seminarios, por lo cual se imponía revisar cuidadosamente todo el material y estudiar extensamente el tema que se exponía en cada ocasión. Arvía imponía una vara muy alta a todos sus discípulos y todos nos sentíamos parte de un equipo de trabajo que tenía objetivos claros y exigentes.

Además, Arvía impulsaba continuamente la realización de cursos, seminarios, workshops, charlas invitadas en INIFTA como también nos alentaba para que participáramos en ese tipo de eventos en otras instituciones nacionales tales como universidades, institutos y centros de investigación, CNEA, INTI, la Academia. De esa manera nos estimulaba a abrir nuestra formación a todas las oportunidades que se ofrecían en ese momento, saliendo del laboratorio y del INIFTA. Ciertamente, no era fácil conseguir financiamiento para los becarios doctorales para asistir a eventos internacionales; pero cada vez que Arvía viajaba para dar una charla invitada, asistía a congresos o visitaba laboratorios en distintos lugares del

mundo; compartía con nosotros a su regreso todas las novedades e información obtenida y nos transmitía también todas las ideas que le habían surgido en esos viajes e intercambios con investigadores de los distintos países que visitaba. También fue impresionante para mí escuchar las charlas de prestigiosos investigadores internacionales en el área de la electroquímica y temas afines que venían al INIFTA a conocer el grupo que dirigía Arvía y que producía trabajos científicos tan relevantes publicados en las mejores revistas del mundo de esta especialidad. Nunca voy a olvidar el día que Bockris, un famoso electroquímico de ese momento que estaba visitando el INIFTA, entró en mi laboratorio, se sentó al lado mío en mi escritorio y me preguntó mi opinión sobre los mecanismos de disolución del hierro en soluciones acuosas. Él era uno de los autores de los trabajos más citados de la época en el tema y donde se discutían precisamente esos mecanismos, y también era el autor de muchos libros que eran de lectura imprescindible para quienes trabajábamos en electroquímica. La posibilidad de intercambiar ideas con un científico del más alto nivel en la temática de mi tesis y de la electroquímica en general fue impactante, y pude sobrevivir airosamente a ese intercambio de ideas. Con esto quiero transmitir el ambiente que en ese momento predominaba en la división Electroquímica dirigida por Arvía, donde sin duda nos sentíamos parte del grupo de investigadores referentes en el tema a nivel mundial.

A la hora de finalizar la tesis y presentarla, fue fundamental contar con su apoyo para cerrar puntos que me generaban dudas o donde tenía que tomar decisiones en cuanto a la interpretación. ¡Los recursos y enfoques que ofrecía para resolver cuestiones complicadas eran geniales!

Más adelante, me incorporé como investigadora al INIFTA bajo la dirección del Dr. Arvía. En esa época estudiábamos la formación y propiedades de superficies de oro rugosas que luego nos abrieron un campo mucho más amplio de investigación hacia los temas de las superficies nanoestructuradas. Arvía ya estaba en contacto con los investigadores españoles que trabajaban con el microscopio de efecto túnel (STM) y que se habían formado con los inventores de ese instrumento. Luego de una estadía prolongada de Roberto Salvarezza en esos laboratorios de la Universidad Autónoma de Madrid y a su regreso, se compra el primer STM y se funda el laboratorio de Nanoscopías del INIFTA en los años 1991-1992. A partir de ese momento me incorporo al grupo de trabajo sumándome a esta nueva línea de trabajo pionera en la Argentina en Nanociencia y Nanotecnología. Se compra también el primer microscopio de fuerzas atómicas (AFM) y se abren muchísimas oportunidades de cooperación con grupos nacionales y extranjeros en temas que van desde las ciencias de los materiales a las biológicas.

Arvía siempre nos alentó y apoyó para ofrecer cursos y workshops de Nanoscopías donde tuvimos muchos alumnos y docentes nacionales e internacionales. La formación de recursos humanos del Laboratorio de

Nanoscopías fue creciendo cada vez más y ramificándose las áreas N&N que se abordaban en el grupo a través de los temas de tesis, estadías de posgrado, planes de investigación de jóvenes investigadores, cooperaciones internacionales y tantas actividades relacionadas.

Lo que siempre admiré en Arvía fue su intelecto brillante, su enorme e inagotable capacidad de trabajo, su “olfato” e intuición que le permitía abrir tantas nuevas ideas para explorar, sus condiciones como mentor, su optimismo y visión positiva de toda la tarea realizada. Ni hablar de ese enorme árbol genealógico que construyó el Dr. Bazán donde se pueden ver todos los caminos abiertos por ese joven investigador que comenzó con herramientas tan precarias en un laboratorio modesto de la Facultad de Ciencias Exactas de la UNLP.

Cualquier texto sería incompleto y corto para describir tanto camino recorrido y abierto a otros. Solo relato mi experiencia personal como su discípula y expreso un gran reconocimiento al Dr. Arvía, “el Jefe”, cuya huella científica trascenderá indudablemente a las generaciones que lo tuvimos como maestro y se engrandecerá aún más con el transcurso del tiempo.

El cierre del Acto, estuvo a cargo del actual Ministro de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva, Dr. Roberto Salvarezza, quien fue también discípulo de Arvía.



MI RELACIÓN CON ARVÍA

Roberto Salvarezza

Ministro de Ciencia, Tecnología e Innovación de la Nación

Conocí a Arvía en 1977 cuando en agosto de ese terrible año pude ingresar como profesional técnico del CONICET al Instituto de Investigaciones Fisicoquímicas Teóricas y Aplicadas (INIFTA), que él dirigía. Recuerdo esa brevísima entrevista de 5 minutos donde sólo me pregunto si tenía vocación por la investigación, cosa que seguramente él sabía porque en mi curriculum ya figuraba un trabajo, publicado en una revista internacional, que había realizado en el Hospital de Clínicas de la UBA. Yo había egresado ese mismo año de la Facultad de Farmacia y Bioquímica (FyB).

Me incorporé al laboratorio de bioelectroquímica que iniciaba una línea de corrosión microbiológica de metales y aleaciones, un tema bien alejado de su interés. Mi contacto con Arvía durante ese período inicial se limitó prácticamente a los seminarios de electroquímica que él presidía y a los que

todos, investigadores y becarios, tenían que asistir so pena de recibir el temido llamado de la Dirección para que justificáramos la inasistencia.

Un año después de doctorarme (1981) en la Facultad de Farmacia y Bioquímica de la UBA e ingresar a la Carrera del Investigador del CONICET, Arvía me propuso desarrollar una nueva línea en nucleación y crecimiento de metales bajo su dirección. A partir de ese año mi relación con “el jefe” se volvería cada vez más cercana, solo interrumpida parcialmente durante mis cuatro años de especialización en microscopía de efecto túnel en la Universidad Autónoma de Madrid. Finalmente, a partir del 2003, comenzó una progresiva separación al dejar Arvía la dirección del INIFTA y discontinuarse el trato diario al que se sumó el hecho de que nuestras líneas de investigación también tomaron distintos rumbos.

De esa relación de más de 20 años me han quedado recuerdos imborrables de su personalidad y que seguramente muchos que lo conocieron compartirán.

Arvía era un trabajador incansable. Trabajaba desde horas muy tempranas. Él mismo abría las oficinas de la Dirección antes de que llegaran las secretarías. Yo solía llegar entre las 7 y las 8 de la mañana desde Capital Federal y me acercaba a la oficina, cuyas puertas estaban abiertas a esa hora, para saludarlo con un simple “Hola jefe”. Apenas levantaba la cabeza del “paper” para responder con el consabido “Hola pibe” y continuaba abstraído en el texto que leía o corregía. Consideraba que la vocación y el esfuerzo era lo que definía el éxito o el fracaso de un científico. Y ese mensaje lo transmitía a los más jóvenes sin decirlo, con el ejemplo.

Pasaba muchas horas leyendo literatura científica. Muchas veces lo sorprendíamos estudiando artículos que nos parecían completamente alejados de las líneas de investigación que llevaba a cabo el INIFTA. Sin embargo, más tarde, nos sorprendía incorporando esas ideas a nuestra investigación diaria. Así en nuestro laboratorio de nucleación y crecimiento aparecieron sucesivamente la geometría fractal, la dinámica no lineal, simulaciones Monte Carlo, microscopía de efecto túnel, monocapas autoensambladas... siempre algo nuevo en la frontera del conocimiento, una verdadera usina de generar ideas.

Le encantaba caminar y muchas de esas ideas surgían en circunstancias impensadas. Estando en Tenerife, donde colaborábamos con el Departamento de Química Física de la Universidad de La Laguna, me proponía que lo acompañara a caminar los 8 km que mediaban entre Santa Cruz y la playa de las Teresitas, inexorablemente en día domingo. Estas caminatas se transformaban en verdaderas reuniones de trabajo donde revisaba todos los temas pendientes, proponía como seguirlos o se le ocurrían nuevas ideas. Llegaba se daba un rápido baño y pegaba la vuelta.

Cuidadoso al máximo, casi obsesivo, modificaba continuamente los textos y las figuras de trabajos que nosotros creíamos listos para enviarse a publicar. En la década del 80 todavía se tipeaba en máquinas de escribir y se dibujaba en papel vegetal. Tijera y plasticola en mano, Arvía cortaba y pegaba partes del artículo una y otra vez para terror de las secretarías y dibujantes que debían volver a rehacer todo lo realizado. Pero también para nosotros que veíamos postergado el envío del trabajo una y otra vez.

Resaltaba en él su sencillez y austeridad que trasladaba al ámbito de trabajo. Su oficina, donde pasaba largas horas del día, era el reflejo de esa austeridad. En una ciencia siempre bajo stress de recursos, miraba cuidadosamente en que se empleaban los siempre insuficientes subsidios.

Director indiscutido del INIFTA por jerarquía científica dejó de serlo por voluntad propia, alejándose del cargo en 2003 para continuar como él quería: un investigador más del Instituto, libre de una gestión desgastante y que había tenido como punto máximo de tensión la crisis del 2001. Recuerdo su tristeza cuando reunidos con la Secretaria Administrativa decidió el cierre del Instituto ante la imposibilidad de pagar los servicios. Finalmente, un préstamo de último momento de la Facultad de Ciencias Exactas de la UNLP permitió que su querido INIFTA continuara con las puertas abiertas.

A pesar de dejar la Dirección, Arvía continuó siendo referencia obligada del INIFTA, una figura reconocida en el país, pero también en el exterior. Lo acompañé en numerosas ocasiones en congresos, reuniones de sociedades científicas como la International Society of Electrochemistry, la cual presidió, y estadias en el exterior. Recuerdo el respeto que su figura generaba, aún en aquellas personas con las cuales confrontaba en materia científica.

Sabía descubrir y fortalecer los aspectos positivos de cada uno de sus colaboradores. De allí su capacidad de liderazgo, de dirigir un numeroso grupo de investigadores destacados y mantenerlo unido a lo largo de muchos años con una exitosa producción científica y de recursos humanos.

También destacaba su generosidad, el saber dejar ir sin reproches a aquellos colaboradores que elegían seguir un camino propio. Dejó crecer a todos sus numerosos discípulos que hoy están presentes en la ciencia de nuestro país y también en el exterior.

Reservado en su vida, cuando se enteraba de problemas en la vida personal de muchos de nosotros, en los momentos difíciles siempre estuvo presente.

Muchas veces intenté explicarme la intensidad de la relación de más de 20 años con esta figura emblemática de la química argentina. Y encuentro

que lo más importante que nos unió fue la curiosidad, el ansia del descubrimiento, en síntesis, la magia de la ciencia que hermana a muchos de nosotros más allá de otras diferencias.

Se ha ido uno de los científicos más brillantes de nuestro país. Ha dejado una huella imborrable en la química a través de su producción científica y de las decenas de discípulos, pero aún más importante, se ha ido una excelente persona.

Alejandro Jorge Arvía (1928-2021)



Dr. Alejandro Jorge Arvía (1928-2021)

A la edad de 93 años acaba de fallecer el Dr. Alejandro Jorge Arvía, quien fuera primero subdirector y luego director del INIFTA entre 1971 y 2003.

El Prof. Dr. Alejandro J. Arvía cursó sus estudios secundarios en el Colegio Nacional de La Plata recibiendo de bachiller en 1945. Ingresó a la Facultad de Química y Farmacia de la Universidad Nacional de La Plata donde se recibió de químico en 1951 y doctor en Química en 1952. Realizó un post-doctorado en la Universidad de Northwestern (EEUU) en 1957 con el Dr. Malcolm Dole en el campo de las radiaciones. Retornó a la Argentina para continuar su tarea de investigación primero en el campo de la cinética de los gases, bajo la dirección del Prof. Hans Schumacher, persona a la que siempre admiró, para luego iniciar sus primeros trabajos en la electroquímica. A partir de esas investigaciones seminales puede afirmarse que funda la electroquímica moderna en la Argentina, con sus primeros trabajos en 1962-1963 sobre electrólisis en sales fundidas. A partir de ese momento y a lo largo de las siguientes décadas, estudiantes e investigadores de la Argentina y de diversos países de Iberoamérica se fueron formando con él, a través de trabajos doctorales, estancias de investigación, cursos y conferencias.

Sus numerosos discípulos fueron llevando la experiencia y conocimientos adquiridos a sus lugares de origen y fundando o ampliando nuevos grupos de investigación locales. De esta manera, nuevos centros de investigación electroquímica se formaron en las provincias de Buenos Aires, Tucumán, Santa Fe, Córdoba, Santiago del Estero y San Luis, en la República Argentina. Su influencia se extendió luego a Latinoamérica a través de cursos, conferencias y reuniones científicas impulsadas por su persona, dando

lugar a que numerosos estudiantes, o investigadores ya formados, provenientes de Chile, Brasil, Venezuela, Uruguay, Bolivia, Cuba, México, etc., decidieran llevar a cabo sus trabajos de tesis doctorales o estadías periódicas en el Instituto de Investigaciones Fisicoquímicas Teórica y Aplicadas (INIFTA) de La Plata, para iniciar o perfeccionar su formación en la Electroquímica, en campos tan variados como electrocatálisis, corrosión metálica, corrosión microbiológica, procesos de transporte, protección de materiales, conversión y almacenamiento de energía, etc.

Impulsó la generación de las jornadas nacionales, primero, y latinoamericanas, después, de Electroquímica, en la búsqueda de la integración continental de los investigadores electroquímicos. A fines de los años 80 y principios de los 90 se trasladó de manera periódica a España donde formó nuevos discípulos y grupos de investigación, abriendo nuevas líneas de trabajo en la Universidad Autónoma de Madrid y en la Universidad de La Laguna (Tenerife), España.

Fundó la Asociación Argentina de Investigación Fisicoquímica en 1973 junto a otros investigadores. En 1989 junto al Prof. Agustín Arévalo de España funda la Sociedad Iberoamericana de Electroquímica, con el propósito de unir Latinoamérica con sus orígenes europeos y desarrollar congresos internacionales donde los jóvenes pudieran hacer sus primeras presentaciones facilitadas por el uso de sus idiomas maternos. Organizó en 1992, en la ciudad de Córdoba, el primer congreso de la Sociedad Internacional de Electroquímica en Latinoamérica, lo que abrió las puertas a posteriores reuniones en países latinoamericanos de dicha sociedad, originalmente europea.

Recibió numerosas distinciones y condecoraciones tanto por su trabajo científico como por su trabajo en la cooperación internacional. Entre ellas, la condecoración del gobierno de Francia como Chevalier de la Orden "des Palmes Académiques" por su tarea en la cooperación internacional; la medalla "J. Heyrovsky" de la Academia de Ciencias Checa, la "Electrochimica Acta Gold Medal" de la Sociedad Internacional de Electroquímica y la Medalla "Luigi Galvani" de la Sociedad de Química Italiana en reconocimiento por su trayectoria en la Electroquímica y el "Premio Scopus" (2007) como el científico argentino más citado. A ellos se pueden sumar "10 jóvenes sobresalientes" (Cámara Junior, Buenos Aires, 1965), Premio Nacional de Química "Provincia de Santa Fe" (1970), Premio Sociedad Científica Argentina (1973), Premio de Ciencia de la Provincia de Buenos Aires (1974), Premio J.J. Kyle de la Asociación Química Argentina (1982), Diploma al mérito Premio Konex (1983), Premio Hans Schumacher de la Asociación Química Argentina como el investigador argentino más destacado en el campo de la fisicoquímica (1992), Premio Bunge y Born (1994), entre mucha otras distinciones.

Partícipe activo en diferentes organismos e instituciones dedicadas a la promoción y desarrollo de la ciencia y la tecnología, fue presidente (1968-1973) y vicepresidente (1978-1980) de la Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires, miembro del directorio del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET, 1978-1982 y 1984-1989), presidente del comité Secyt-ECOS para la cooperación entre Argentina y Francia (1994).

Fue asesor de la UNESCO y de la OEA, presidente de la Sociedad Internacional de Electroquímica, vicepresidente de la Academia de Ciencias del Tercer Mundo (1995-2000), donde también se le otorgó la prestigiosa TWAS-Medal Lecturer (1997). Sus contribuciones científicas han sido amplias a lo largo de su vida científica. Llevó a cabo trabajos pioneros en el campo de la cinética de reacciones en fase gaseosa en presencia de flúor con el Prof. Schumacher. Posteriormente se abocó a la electroquímica de las sales fundidas y a los fenómenos de transporte en sistemas electrolíticos, sentando nuevas bases y desarrollos en las teorías del transporte de materia en electrodos rotantes, cilíndricos y cónicos, incluyendo el efecto de la convección térmica, trabajos que hoy día siguen siendo citados a pesar de haber transcurrido más de 50 años de su publicación. Un grupo de sus discípulos en el tema de las sales fundidas posteriormente encabezaron la sección de investigación y desarrollo de la empresa ALUAR en Argentina. Encaró estudios sobre la formación de películas anódicas sobre metales nobles, corrosión metálica y microbiológica, celdas combustibles a partir de microorganismos y temas relacionados con aspectos básicos de la electrocatálisis entre ellos el desarrollo de superficies monoorientadas de metales nobles mediante la simple aplicación de perturbaciones periódicas de potencial eléctrico. Durante una de sus estadias en España, impulsó los primeros estudios electroquímicos a nivel nanoscópico e instala a su regreso a la Argentina el primer laboratorio de nanoscopías en Sudamérica. Su trabajo iniciático sobre electroquímica y nanoscopías fue publicado en la revista Nature en 1986.

En los años 90 inició un programa en el INIFTA con la Academia de Ciencias del Tercer Mundo para visitas de investigadores de países del tercer mundo para perfeccionarse en el campo de la Fisicoquímica.

Ya entrado en el siglo XXI abrió nuevos campos de investigación interdisciplinaria entre la fisicoquímica y las ciencias biológicas estudiando la dinámica de crecimiento y expansión de colonias celulares empleando herramientas teóricas provenientes de la física y la estadística para interpretar el crecimiento quasi-bidimensional de cultivos de células cancerosas, estableciendo nuevas metodologías experimentales como del manejo matemático de los datos biológicos.

A lo largo de su extensa carrera, el Prof. Arvía publicó más de 800 trabajos científicos, 19 libros o capítulos de libros y dirigió más de 90 becarios entre connacionales y extranjeros.

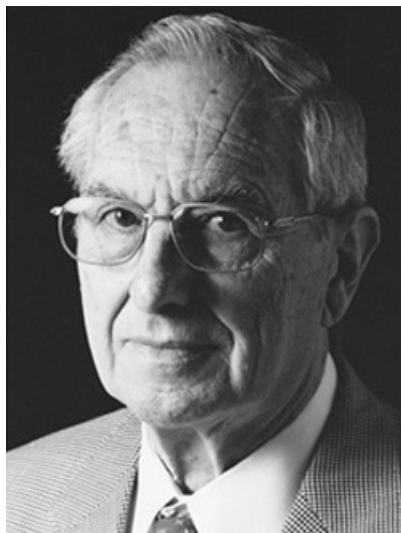
Fuerte impulsor de la educación en ciencias, particularmente en los colegios, desarrolló cursos para profesores ya desde fines de la década del 60 y continuó con esa tarea una vez presidente de la Academia Nacional de Ciencias Exactas Físicas y Naturales. Su labor en ese campo fue reconocida al ser nombrado Académico de Número de la Academia Nacional de Educación (sitial Luis Jorge Zanotti) de Argentina. También fue elegido miembro de la Academia de Ciencias Latinoamericana, la Academia Nacional de Ciencias, con sede en Córdoba (Argentina) y la Academia de Ciencias de las Islas Canarias. Por la suma de todos sus méritos, en el año 2010 fue declarado Ciudadano Ilustre de la ciudad de La Plata.

Hombre profundamente religioso y comprometido con su fe cristiana, pero siempre con la mente abierta y crítica de todo buen hombre de ciencia en la búsqueda de la Verdad. Motivador y motivante de debates entre Ciencia, Fe y Religión, fue asimismo un fiel creyente del ecumenismo religioso con una clara visión entre lo que correspondía al campo de la ciencia y al campo religioso.

Quienes tuvieron la oportunidad de trabajar bajo su dirección o a su lado, lo recordarán por su entusiasmo, su impulso, su capacidad de encarar diferentes temas de manera simultánea, su espíritu quijotesco para emprender nuevos caminos en medio de carencias y dificultades, particularmente en etapas difíciles del país, sin dejar de preocuparse por la situación personal de quienes podían estar pasando momentos de cierta incerteza o inseguridad. Durante toda su vida practicó el bajo perfil, el trabajo constante y silencioso en los laboratorios, la cooperación desinteresada entre los grupos de investigación y la preocupación por el desarrollo profesional de los jóvenes que lo acompañaban. Una de sus máximas era no detenerse frente a los obstáculos, sino evitarlos con un rodeo y seguir adelante, que el trabajo serio y bien hecho encontraría siempre un buen destino. Más allá de todas sus virtudes y defectos, en vida alcanzó ser lo que en el fondo realmente le importó: ser en esencia un buen hombre. Y así lo recordaremos, más allá de todo premio y toda ciencia.

Agustín E. Bolzán

Alejandro Jorge Arvía (1928 – 2021)



Dr. Alejandro Jorge Arvía (1928-2021)

Nuestro querido colega y amigo, y para mí personalmente uno de mis grandes maestros, Alejandro Jorge Arvía, falleció 22 de abril de este año generando un profundo y doloroso vacío, no sólo en la comunidad de nuestra Academia sino también en todo el ámbito académico-científico nacional. La trascendencia, calidad e impacto de su labor científica, organizativa y docente le deparan un sitio de honor y de permanente recordación entre las grandes figuras de la ciencia argentina.

Alejandro Jorge Arvía nació en la ciudad de La Plata el 14 de enero de 1928 y realizó sus estudios secundarios en el histórico Colegio Nacional de esa ciudad, dependiente de la UNLP. Posteriormente, cursó la carrera de Química en la entonces Facultad de Química y Farmacia de la UNLP obteniendo el título de Licenciado en Química en 1951 y el grado de Doctor en Química al año siguiente. Entre 1956 y 1957 se desempeñó como Investigador Asociado en el Departamento de Química de la Northwestern University de los EEUU y a su regreso al país, entre 1958 y 1960, se desempeñó como Profesor Titular de Química General en la UBA y Profesor Titular de Electroquímica en la UNLP. A partir de 1962 y durante los siguientes treinta años actuó como Profesor Titular (dedicación exclusiva) de Fisicoquímica en la Facultad de Ciencias Exactas de la UNLP, dictando diversos cursos y asignaturas, tanto de grado como de posgrado. En 1994 fue designado Profesor Emérito por la UNLP. A partir de 1962 había quedado también incorporado a la Carrera del Investigador Científico del CONICET, desempeñándose como Investigador Superior entre 1972 y 2000 siendo, finalmente, designado Investigador Emérito de ese organismo en 2003.

El Dr. Arvía se constituyó en uno de los máximos referentes de la Fisicoquímica argentina y latinoamericana, alcanzando también un rápido y continuado reconocimiento internacional. Sus intereses en investigación abarcan diferentes áreas de la Fisicoquímica especialmente la Electroquímica y la Química Superficial. Su actividad científica se desarrolló prácticamente en su totalidad en el Instituto de Investigaciones Fisicoquímicas, Teóricas y Aplicadas-INIFTA, al que se incorporó a partir de 1958 y a cuyo desarrollo y crecimiento hizo aportes sustanciales. Entre 1971 y 1973 fue Sub-Director del INIFTA y entre 1975 y 2003 desempeñó el cargo de Director y bajo su dirección el Instituto alcanzó el brillo y reconocimiento que lo siguen distinguiendo. En noviembre de 1998, y para festejar el cincuentenario de la creación del INIFTA organizó en el Instituto el International Meeting on Physical Chemistry Frontier Topics, que alcanzó un notable brillo y relevancia.

Personalmente lo recuerdo desde mi época de estudiante en que lo tuve como Profesor en la asignatura de Fisicoquímica II, durante el último año de mi carrera universitaria, y siempre he expresado mi admiración por la calidad y claridad conceptual de sus clases, así como las valiosas reflexiones y comentarios que siempre transmitía en cada una de ellas, que las convirtieron realmente en jornadas memorables para quienes tuvimos el privilegio de escucharlas. A partir de ese momento pude mantener una relación bastante continuada con el Dr. Arvía, que se extendió por muchos años, ya que en varias oportunidades compartimos asistencias a congresos nacionales o internacionales, trabajamos en forma conjunta en la CIC-Prov. de Bs. Aires, cuando él fue Presidente de ese organismo, así como en varias Comisiones y grupos de trabajo en el CONICET. Y, finalmente, en 2006 al aceptar por segunda vez la Presidencia de nuestra Academia me convocó para que lo acompañara como Secretario General de su Mesa Directiva. Durante todos esos años no sólo continué admirando al Arvía científico sino que llegué a apreciar también muchas de sus facetas personales y humanas que resultaban asimismo notables y valiosas, ya que había una gran variedad de temas, desde los muy mundanos hasta los de una gran profundidad filosófica, en los cuales se movía con mucha soltura y conocimientos y de los cuales me resultaba fascinante conversar y discutir con él. Y entre otras cosas, siempre me impactó su fuerte fe religiosa y su profunda, y a veces hasta conmovedora, adhesión a los preceptos de la Iglesia Católica.

La importancia e impacto de la labor científica del Dr. Arvía queda reflejada en la publicación de más de 700 trabajos científicos originales, así como de casi una veintena de libros y capítulos de libros y su participación en innumerables Congresos y Reuniones nacionales a internacionales, en muchas de las cuales actuó como conferenciante invitado. Asimismo, ha dirigido a más de un centenar de becarios, tesistas, pasantes, posgraduados e investigadores jóvenes de universidades argentinas y extranjeras,

principalmente de países latinoamericanos y de España. Especialmente destacable resulta ser el hecho de que muchos de sus ex-discípulos y colaboradores han logrado posiciones importantes no sólo en la actividad universitaria o en las Carreras del Investigador del CONICET o de la CIC-PBA, sino también en diferentes ámbitos de la industria nacional. También integró, en forma continuada, los Comités Editoriales de varias publicaciones científicas nacionales e internacionales y actuó como asesor para numerosas publicaciones de su especialidad.

Participó de manera muy activa en organismos de Ciencia y Tecnología y en instituciones dedicadas a la promoción de la Ciencia y al desarrollo tecnológico. En este contexto, debe remarcarse que entre 1968 y 1973 se desempeñó como Presidente de la Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires y también fue miembro del Directorio del CONICET en dos oportunidades (1978-1982 y 1984-1989). Asimismo, fue uno de los fundadores y primer Presidente (1978-1980) de la Asociación Argentina de Investigación Fisicoquímica. También durante la gestación y organización de esta Asociación tuvo la oportunidad de actuar continuadamente a su lado.

En 1988 fue incorporado a la Academia de Ciencias del Mundo-TWAS, de la cual fue Vice-Presidente por América Latina y el Caribe, por el período 1995-2000 y también TWAS-Medal Lecturer (1997).

Asimismo, fue miembro del Bureau de la International Union of Pure and Applied Chemistry-IUPAC (1982-1988), Consejero Científico de la UNESCO para el desarrollo de programas científicos en Latinoamérica, Vicepresidente de la International Society of Electrochemistry (1984-1986) y Presidente de la misma Sociedad (1992-1994) así como Presidente del Comité SECyT-ECOS para la cooperación científica entre Argentina y Francia (1994). El impacto y la trascendencia de su labor también se han visto reflejadas en los honores y distinciones que le dispensaron diferentes Universidades Nacionales y extranjeras. Fue Doctor honoris-causa de la Universidad Autónoma de Madrid (1991) y de la Universidad Católica de Valparaíso (1989), Profesor Honorario de las Universidades Nacionales de Córdoba, Tucumán, Cuyo, del Nordeste, del Sur y del Centro de la Prov. de Buenos Aires, y fue Profesor Visitante o Invitado de numerosas Universidades de América, Europa y Japón.

Fue Miembro Titular de nuestra Academia desde 1973 (Académico Emérito desde 2010), así como de la Academia Nacional de Educación, y de la Academia de Ciencias Latinoamericana. Por otra parte, fue Académico Correspondiente de la Academia de Ciencias en Córdoba y de la Academia de Ciencia de las Islas Canarias.

Desde su incorporación a nuestra Academia, trabajó incansablemente en la misma, integrando diversas de sus Comisiones especiales y grupos de

trabajo. Asimismo, ocupó su Presidencia en dos períodos consecutivos (2004-2006 y 2006-2008) y durante esos períodos la Academia logró reforzar y afianzar notablemente sus contactos y relaciones internacionales e inició en forma sistemática los primeros programas continuados de difusión científica y de mejoramiento de la enseñanza de las Ciencias que han logrado mantenerse y extenderse desde entonces en forma muy importante y significativa. En particular, hay que mencionar el afianzamiento de acciones conjuntas con la Academia de Ciencias de Francia, en especial a través de su Presidente Pierre Lena, con quien llegó a tener una larga y cordial relación. Inicialmente, se iniciaron actividades en el marco del proyecto denominado “La Main a la Pâte”, destinado a la enseñanza de las ciencias, basada en investigación, en escuelas primarias y colegios secundarios, dictándose cursos y seminarios en diferentes lugares del país. Posteriormente la ANCFN adoptó una estructura propia para estos cursos, en los denominados talleres “hace” (haciendo ciencia en la escuela), cuyo objetivo es fortalecer la educación en ciencia y tecnología en el nivel primario basada en la indagación por los niños. Y estos talleres se han ido repitiendo regularmente a lo largo de los años, en diferentes ámbitos. Por otra parte, durante la Presidencia del Dr. Arvía se logró también afianzar y estrechar más fuertemente los vínculos con IANAS (InterAmerican Network of Academies of Science), lo que llevó a la organización continuada de numerosas actividades de formación y perfeccionamiento con la participación de otras Academias del continente, así como en la participación personal permanente de miembros de nuestra Academia en los programas focales de IANAS.

A lo largo de su trayectoria el Dr. Arvía había sido honrado con numerosos e importantes premios comenzando con el Premio “Diez Jóvenes Sobresalientes” (1965) y el Premio Nacional de Química de la Provincia de Santa Fé (1969). Posteriormente, recibió un Premio de la Sociedad Científica Argentina (1973), el Premio en Ciencia de la Provincia de Bs. Aires (1975), el Premio Consagración J.J. Kyle de la Asociación Química Argentina (1983), el Diploma al Mérito de la Fundación Konex en Ciencia y Tecnología (1983). Asimismo, es Chevalier de la Orden “des Palmes Académiques” del gobierno de Francia (1985), recipiendario de la medalla J. Heyrovsky del gobierno checoslovaco (1990) y de la Medalla Luigi Galvani, otorgada por la Sociedad Química italiana (2001). En 1994 obtuvo el Premio Bunge y Born en el campo de la Química, y en 2000 el Premio “Trayectoria Dorada” en Ciencias de ADEPA y la Medalla de Oro “Pergamon 2000”, otorgada por la International Society of Electrochemistry.

El 11 de junio de 2021 la ANCFN organizó una Jornada de Homenaje al Dr. Arvía, en la que participaron colegas, amigos y ex-discípulos del homenajeado, incluyendo al Sr. Ministro de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva, Dr. Roberto Salvarezza, quien también fuera uno de sus discípulos y colaboradores.

Enrique J. Baran

Académico Emérito de la Academia Nacional de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales (Email: baran@quimica.unlp.edu.ar)

Alberto Pignotti (1936-2021)



Dr. Alberto Pignotti (1936-2021)

El día 1 de junio de 2021 ha fallecido nuestro Académico Emérito, el doctor Alberto Pignotti después de sufrir una enfermedad pulmonar que se agravó en los últimos días como consecuencia de haber desarrollado un cuadro Covid.

Alberto Pignotti es conocido a nivel internacional por sus aportes teóricos en el desarrollo de la física de partículas elementales, y muy apreciado por sus colegas de ciencias de la UBA, con los cuales desarrolló a través de muchos años de labor, en la docencia y la investigación, lazos muy fuertes de amistad.

También trascendió a la comunidad industrial por sus importantes y originales aportes en la solución de problemas en la construcción de puentes de gran porte, en la sistematización de los procesos de ingeniería, en sus soluciones a problemas de la ingeniería de procesos en temas de intercambiadores de calor, en las mejoras encontradas en el control de la fabricación de tubos de acero, y finalmente en la creación de un centro de investigación de excelencia de investigación y desarrollo de tecnología metalúrgica.

Había nacido en la ciudad de Buenos Aires el día 3 de noviembre de 1936. Después de terminar sus estudios secundarios en el Colegio Nacional Buenos Aires, ingresó a la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales en la carrera de Ciencias Físicas. Completó la Licenciatura en Física en 1959.

Viajó con una beca con una beca externa del CONICET al Lawrence Radiation Laboratory de la Universidad de California en Berkeley, donde bajo

la guía de Goffrey Chew, tuvo una fructífera producción, publicando importantes trabajos en partículas elementales. De esa época es la predicción de las propiedades del Meson que fueron recién confirmadas experimentalmente, ya estando él de vuelta en Buenos Aires. Con ese *background*, cuando volvió a la UBA presentó su tesis doctoral en Física bajo la dirección de Juan José Giambiagi en 1964.

En plena actividad docente y de investigación, con varios trabajos terminados que se fueron publicando en este período, ocurrió la triste Noche de los Bastones Largos, el 29 de julio de 1966, que terminó destruyendo los grupos de excelencia que se estaban desarrollando en el Departamento de Física de Exactas.

Tuvo que viajar nuevamente a Berkeley como post-doc, al Lawrence Radiation Laboratory, donde trabajó junto con Naren Bali, ambos bajo la dirección del Dr Goffrey Chew. Un par de años después dejó la Universidad de California, Santa Barbara, para ir a la Universidad de Washington donde estaba el Dr Marshall Baker, en la que terminó como Associate Professor. Nuevamente tuvo una importante producción en todo este período con más de 15 trabajos en *Physical Review* y *Physical Review Letters* en teoría y metodología de partículas elementales.

En 1970 se llamó a un concurso abierto para Profesores de Física en Exactas, con las garantías de un jurado serio de profesores calificados y el Dr. Pignotti se presentó, renunciando al *tenure* que había logrado en la Universidad de Washington. Retornó como Profesor Titular, junto con otros profesores como Bali, Virasoro, y varios más. Consiguió organizar bajo su dirección a una nueva generación de jóvenes físicos y publicar media docena de trabajos con ellos. Lamentablemente este nuevo período duró solo hasta 1974. La muerte de Perón disparó la Misión Ivanissevich, quien con la desastrosa intervención de la UBA de Alberto Ottalagano, dejó cesante a casi todos los físicos que habían retornado a la universidad.

Este acontecimiento fue la despedida del Dr. Pignotti como físico teórico. Había decidido no irse del país. Junto con el Dr. Bali, incursionaron en la industria privada, en la Dirección de Ingeniería de la Organización Techint, con el respaldo de la familia Rocca.

Allí nuevamente se destacó con soluciones inéditas para los ingenieros y fue ampliamente reconocido en ingeniería y en la industria metalúrgica. Publicó más de 20 trabajos sobre importantes problemas resueltos en este campo en revistas como *ASME Journal of Heat Transfer* y otras prestigiosas revistas de ingeniería.

Después de más de una década exitosa como físico teórico de partículas, tanto en la Argentina como en los Estados Unidos, culminó su carrera con

más de 21 años de experiencia trabajando en una de las corporaciones líderes en ingeniería y en la industria del acero del país.

Un legado importante fue su aporte de su capacidad profesional a las necesidades de la industria metalúrgica. Formó un centro de investigaciones industriales dentro de la corporación, en el que se intentó cambiar el enfoque ingenieril basado en el *know-how* por el científico basado en el *know-why*. Es así que convocó a la formación de un grupo multidisciplinario integrando ingenieros, especialistas, físicos, químicos y matemáticos.

Fue invitado a exponer en numerosos eventos internacionales y participó como orador principal en diversos simposios de su especialidad.

Finalmente, cabe mencionar que fue nombrado Académico de la Academia Nacional de Ciencias Exactas, Físicas, y Naturales de la Argentina en 1988, y de la Third World Academy of Sciences en 1996. También recibió el Premio de la Fundación Konex en Ciencias y Tecnología en Física en 1993.

Edmundo D. Ramos

En recuerdo de Alberto Pignotti



Reunión de “expre-66”. J. Roederer, A. Pignotti, M. A. Virasoro, N. Bali, C. A. Perazzo y E. Maqueda (de espaldas). En la reunión (en otras mesas) también estuvieron presentes D. R. Bes, C. A. Mallmann y H. A. Farach. San Isidro, domingo 2 de octubre de 2016.

Conocí a Alberto en el segundo cuatrimestre de 1959 al cursar Física II en Perú 222. Yo venía de cursar el primer año de ingeniería el año anterior. Él era jefe de trabajos prácticos y en una oportunidad me pidió que lo reemplazara en una de las clases. No tengo idea de por qué me eligió a mí. Poco después, a la hora del final, ocurrió una circunstancia muy especial, en la cual Alberto, sin saberlo, salvó mi carrera. De no haber sido por él creo que hubiera abandonado la Física. Así, de un modo singular, comenzó mi relación con él.

En el siguiente cuatrimestre, nuevamente fui su alumno en las prácticas de Mecánica. Allí aprendí a apreciar su apego por la disciplina y la puntualidad: él fijó el turno de sus clases para los lunes a la 8 hs de la mañana. A esa hora cerraba la puerta con llave, el que no había llegado no entraba.

Algún tiempo después una situación familiar nos acercó más allá de los claustros. Nuestras novias, María Rosa y Amalia, se habían anotado en una jornada de retiro y allí las fuimos a buscar ambos y a la vuelta compartimos un agradable viaje en tren. Ese día (¿lo tuteaba ya?) le conté lo que había pasado en aquel examen de Física II, de lo cual él no tenía idea, y aproveché la oportunidad para agradecerle que aún seguía en la Facultad.

En 1964 Alberto se doctoró y se fue a hacer un postdoc en Berkeley y Santa Bárbara donde adquirió prestigio internacional por sus trabajos en física de partículas. También fue profesor en la Universidad de Washington en Seattle.

En 1966 ocurrió la hecatombe de la “Noche de los bastones largos” y la mayoría renunciaron a nuestros cargos docentes. En 1970 se hicieron los primeros concursos abiertos desde aquel trágico episodio en el Departamento de Física de la Facultad de Ciencias de la UBA. Sospecho que ese concurso se debió, al menos en parte, a una gestión silenciosa de J. J. Giambiagi que anhelaba poder reconstruir aquel pujante Departamento de Física que él había liderado previo a las renunciaciones de 1966. Yo recuerdo con afecto y reconocimiento la insistencia de Giambiagi para que me presentara a concurso. Es probable que haya hecho lo mismo con Alberto, así como con M.A. Virasoro, Naren Bali y otros. Lo cierto es que volvimos a la Facultad, pero... no por mucho tiempo. Se sucedieron hechos desafortunados en los años siguientes 1972-73 y en 1974 fuimos dejados cesantes.

En ese momento Alberto y Naren, ambos físicos teóricos con una sólida posición de prestigio internacional, tomaron una decisión audaz y decidieron abandonar “su zona de confort” y se fueron a aplicar sus conocimientos en el sector privado. Fueron a trabajar en Techint. Allí Alberto hizo contribuciones tecnológicas notables, como un modelo de intercambiador de calor usando herramientas de la física de partículas. Más tarde animó a Roberto Rocca a crear una Fundación para el Desarrollo Tecnológico que fue el antecedente del CINI, el Centro de Investigación Industrial de Techint (hoy Tenaris) más grande de la Argentina y en virtud del cual esta organización alcanzó una posición de liderazgo mundial en el mercado de tubos sin costura para la industria petrolífera. Esa planta industrial tiene un equipo que mide el espesor de los tubos en la propia línea de producción en tiempo real utilizando rayos gamma. Este instrumento me dio la oportunidad de trabajar junto con Alberto por primera vez y no fue en física pura sino en un tema tecnológico. Este equipo no estaba funcionando bien y dado que era un instrumento nuclear Alberto me pidió en 2003 que lo estudiara y pusiera a punto. Justamente en ese año le otorgaron el premio Konex al Desarrollo Tecnológico (él había recibido otro en el área Física en 1993). Trabajamos un par de años en este proyecto; fue un lindo y muy placentero desafío que me permitió apreciar de cerca su talento e inteligencia.

En este período viajamos juntos a la planta Dálmine en Bérgamo donde había un equipo similar. Un domingo, en el hotel nos sentamos a interpretar los datos que habíamos obtenido de ese instrumento y allí Alberto me mostró un nuevo algoritmo que se le había ocurrido: una verdadera genialidad.

En años más recientes cimentamos nuestra amistad compartiendo las sesiones de la Academia.

La comunidad científica y tecnología argentina le debe mucho a Alberto y espero que este sencillo recuerdo personal ayude a que reciba el reconocimiento que merece.

Despido a Alberto con mucha pena y gran aprecio por haberme enriquecido tanto con su compañerismo y amistad.

Mario A. J. Mariscotti

Miguel Ángel Virasoro (1940-2021)



Dr. Miguel Ángel Virasoro (1940-2021)

Miguel Virasoro nació en Buenos Aires el 9 de mayo de 1940 y falleció en la misma ciudad de 23 de julio de 2021. Miguel se formó en el departamento de física de la Universidad de Buenos Aires con los profesores Juan J. Giambiagi y Carlos Bollini. Este último fue su director de tesis, durante lo que podríamos decir la época de oro de este departamento de física que se extendió hasta el año 1966, cuando todo se destruyó por la intervención militar de la universidad. Virasoro renunció y se fue a trabajar al extranjero.

Miguel fue sin duda un academicista físico teórico y de gran creatividad, reconocido por sus trabajos pioneros de la Teoría de Cuerdas. Trabajó con personalidades muy relevantes de la física del momento como lo fue el profesor Veneciano conocido por la introducción de los modelos duales en el campo de la física de partículas. Es en este periodo que lo llevó a desarrollar lo que hoy, universalmente, se conoce como las álgebras de Virasoro. Tiempo después, siendo profesor de la Universidad de Roma, trabajó junto con el Profesor Giorgio Parisi, quien este año recibiera el premio Nobel de Física, en lo que se denominan vidrios de spin, sistemas magnéticos en el que los acoplamientos entre átomos son aleatorios y en los cuales durante el tiempo de observación la aleatoriedad permanece congelada. Estos estudios lo llevaron a la física de sistemas complejos donde realizó interesantes contribuciones. Sin duda, mucho más se puede decir de su tarea como investigador en la frontera del conocimiento que muestran el espíritu inquieto que siempre lo animó por conocer la física en su globalidad. Es muy importante recordar que tuvo el privilegio de reemplazar al profesor Abdus Salam premio Nobel de Física, después de su fallecimiento, como director del Centro Internacional de Física Teórica (ICTP) en Trieste, durante un

prolongado período de siete años. En el país también realizó tareas de gestión ya que fue, durante un corto período, decano de la Facultad de Ciencias Exactas de la Universidad de Buenos Aires y un tiempo después nuevamente, fue expulsado como profesor y posteriormente como investigador del CONICET, volviendo al extranjero como invitado a la Universidad de Princeton. Desde 2011 se desempeñó como profesor honorario del Instituto de Ciencias de la Universidad Nacional de General Sarmiento.

Miguel Virasoro recibió prestigiosos reconocimientos internacionales y nacionales, entre otros, la Medalla Dirac del ICTP, el Premio Enrico Fermi que otorga la Sociedad Italiana de Física y el Premio Ricardo Gans otorgado por la Universidad Nacional de La Plata.

Si bien no tuve la oportunidad de haber trabajado con él en la actividad académica científica, conozco muy bien su trayectoria y la relevancia y trascendencia de su trabajo. He tenido la posibilidad de compartir con el Dr. Virasoro responsabilidades en diferentes reuniones y comisiones nacionales e internacionales y también la suerte de participar con él en encuentros y reuniones con amigos, que me permitieron apreciar su agudeza de pensamiento y la precisión con la que fundamentaba sus ideas. Su carácter alegre y comunicativo lo hicieron una persona modesta y de fácil acceso. Junto a los miembros de esta Academia, lamentamos enormemente su desaparición con la seguridad de que lo tendremos siempre presente.

Dr. Huner Fanchiotti

Eduardo L. Ortiz (1931-2021)



Prof. Eduardo L. Ortiz (1931-2021)

Es con inmenso pesar que informo a los Miembros de la Academia Nacional de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales (ANCEFN) de Argentina el fallecimiento del distinguido científico argentino Dr. Eduardo L. Ortiz, Profesor Emérito de Matemáticas e Historia de las Matemáticas de la Facultad de Ciencias Naturales, Departamento de Matemáticas, Imperial College Londres, Reino Unido, el 29 de Diciembre 2021 en la ciudad de Londres, Inglaterra.

El Profesor Ortiz realizó sus estudios de licenciatura y doctorado en la Universidad de Buenos Aires, donde egresó en 1961. Sus actividades académicas a nivel nacional e internacional son innumerables en términos de sus contribuciones reflejadas en sus publicaciones científicas y como autor de numerosos libros en su especialidad. Es así que fue Profesor de Primera Clase en la Universidad de Orleans, Francia (1992-1993), Miembro Académico Extranjero de la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales de España desde 1991, como también Miembro Correspondiente de nuestra Academia desde 1998, recipiente del Premio Nacional J. Balbini sobre Historia de la Ciencia de Argentina en 1990, Chief Editor, Biblioteca Humboldt, Londres, Investigador John Simon Guggenheim en el Departamento de Historia de la Universidad de Harvard, USA (1996-1998). Como Profesor tuvo una trayectoria ejemplar como lo manifestaran algunos de sus ex-estudiantes, con los cuales tuve oportunidad de interactuar. Deja a la comunidad científica internacional un admirable legado dado que desarrolló actividades académicas hasta su muerte (90 años de edad) como lo refleja su último artículo publicado en 2020.

Desde el punto de vista personal, Eduardo fue una persona excepcional con extraordinarias cualidades humanas, un caballero en todo sentido. Disfrutar de su asombroso conocimiento cultural y su amistad fue para mi

familia y para mí un gran privilegio que nos deja un tesoro de recuerdos. Su desaparición es una gran pérdida para la comunidad científica, así como para todos aquéllos que tuvimos el honor de haberlo conocido y compartido con él momentos memorables. Le sobreviven su esposa, la Dra. Susana Pérez Ortiz, su hijo el Dr. Miguel Ortiz y familia, a quienes ofrecemos nuestro más sentido pésame.

Profesora Angela F. Danil de Namor
PhD, DSc, C Chem. FRSC
Miembro Correspondiente de la ANCEF
Departamento de Química, FEPS, Universidad de Surrey, Reino Unido

RECONOCIMIENTOS

Bicentenario de la Universidad de Buenos Aires

En conmemoración del bicentenario de la Universidad de Buenos Aires, en el acto realizado el 9 de agosto de 2021, once miembros de la ANCEFN graduados en esa Casa de Estudios fueron distinguidos por su trayectoria. Ellos son los Académicos Titulares Dra. Alicia Dickenstein, Dr. Ing. Eduardo N. Dvorkin, Dr. Alberto R. Kornblihtt, Dr. Miguel Angel Laborde, Dr. Gabriel Rabinovich, Dr. Víctor A. Ramos, Ing. Marta Rosen, Ing. Teresa Pérez, Dra. Carolina Vera, Dr. Víctor Yohai, Dr. Matías Zaldarriaga y el Académico Correspondiente Dr. Luis A. Caffarelli.

Distinción a la Dra. Cristina Mandrini

La Académica Cristina Mandrini fue designada Presidente del Comité Directivo de la División "Sol y Heliosfera" de la Unión Astronómica Internacional para el período 2021-2024.

Distinción a la Dra. Noemí Zaritzky

La Académica Noemí Zaritzky recibió el Premio Ada Byron 2021 a la mujer tecnóloga.

Distinción al Dr. Daniel R. Bes

El Académico Honorario Daniel R. Bes ha sido galardonado con Premio Houssay Trayectoria 2021 del Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación, en el área Física, Matemática, Ciencias de la Computación y Astronomía y recibió la Distinción Investigador de la Nación Argentina 2021.

PREMIOS
**“Academia Nacional de Ciencias Exactas,
Físicas y Naturales”**

La Academia, en su sesión plenaria realizada el 25 de Septiembre de 2020, de acuerdo con las propuestas recibidas por las diferentes Secciones y teniendo presente los resultados de las votaciones secretas de sus Miembros Titulares, decide otorgar por unanimidad los siguientes premios a los candidatos seleccionados. El acto de entrega correspondiente tuvo lugar el 26 de noviembre de 2021.



APERTURA DEL ACTO DE ENTREGA DE PREMIOS

Buenos días a todos y todas.

En primer lugar, quiero agradecer al señor Ministro de Ciencia, Tecnología e Innovación productiva doctor Daniel Filmus que nos ha brindado su casa para realizar este acto, representado en esta ocasión por el Dr. Juan Pablo Paz, secretario de Articulación Científico Tecnológica.

Hoy la Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales realiza uno de los actos académicos más gratos para la institución, como es el premiar a destacados científicos argentinos, los que han sido seleccionados a través de un arduo y riguroso trabajo realizado por distintas comisiones de la Academia. Los candidatos han sido propuestos por diferentes instituciones del país a las que estamos agradecidos por el celo y la responsabilidad demostrada en la elección de los potenciales candidatos.

Como ustedes saben el primer presidente y fundador de esta Academia fue el rector de la Universidad de Buenos Aires Juan María Gutiérrez en 1874. Este hecho marcó a nuestra institución y tiene para nosotros un significado estimulante. Primero por la excelencia y calidad de la institución que nos dio origen, y además porque la Academia funcionó en la histórica Manzana de las Luces por más de 80 años, más de la mitad de su vida, compartiendo sus miembros las tareas académicas con la de docencia, marcando una estrecha colaboración entre las dos instituciones que perdura hasta nuestros días.

Este retorno virtual a los orígenes de la Academia me permite recordar los objetivos planteados por Juan María Gutiérrez y hacer una breve síntesis del rol de la Academia en la promoción del conocimiento científico y su relación con la sociedad.

Desde sus orígenes la Academia se privilegió con la incorporación de prestigiosos científicos, seleccionados entre los más prominentes de las diferentes disciplinas, destacándose entre ellos el Doctor Luis Federico Leloir, quien ocupara importantes tareas de gestión en nuestra institución antes de ser laureado con el Premio Nobel. También pasó por esta academia otro Premio Nobel, el Dr. César Milstein y toda una pléyade de ilustres científicos que sería muy largo enumerar.

Sus miembros son elegidos por la propia Academia, sin intervención externa, en mérito a sus destacados aportes en la disciplina y sus virtudes personales. Esto hace a las Academias organizaciones reconocidas por su jerarquía científica y su independencia respecto del gobierno, partidos políticos o corporaciones de cualquier tipo. Esta tarea de seleccionar e incorporar a prestigiosos hombres de ciencia a las tareas de nuestra academia garantiza, a través de los años, la excelencia e independencia de sus resoluciones y recomendaciones.

La Academia integra el Consejo Interacadémico que reúne a las 22 academias nacionales, que todos los años se reúnen y analizan los problemas prioritarios para el país y en forma conjunta seleccionan los temas más relevantes para su discusión y análisis. El año pasado correspondió a los problemas que enfrenta la sociedad con la "Pandemia. Los múltiples desafíos que el presente le plantea al porvenir". Este año el tema que convocó a las academias nacionales ha sido la ciencia de datos y la inteligencia artificial, analizados desde las más diversas ópticas. Su documento final sobre Inteligencia Artificial es una mirada multidisciplinaria que plantea desde diferentes ángulos los problemas técnicos, el uso de sus algoritmos y lo que es importante, un alerta de los problemas éticos que presentan, que pone en peligro a las instituciones e inclusive a la democracia. El documento final fue impreso en un libro en papel y en forma digital que ha sido presentado a las instituciones correspondientes y está disponible en forma pública en la web.

Nuestra Academia participa activamente en la Red Interamericana de Academias de Ciencias (IANAS) que tiene como principales objetivos focales el fortalecimiento de las capacidades (*capacity-building*) de la comunidad científica y la sociedad en general en los respectivos países a través de cursos y reuniones científicas y de divulgación de la ciencia; además de un programa sobre el problema del agua en la región (*water program*), otro sobre el rol de la mujer en la ciencia (*Women for Science Program*), uno sobre energía con énfasis en las renovables (*Energy Program*) y finalmente uno muy activo sobre educación en ciencia (*Science Education Program*). Estas iniciativas son

a nivel continental priorizando las subregiones más vulnerables o con mayores problemas.

Además, nuestra Academia es la representante del país en “Science 20” (S20), que representa a las Academias Nacionales de Ciencias de las naciones del G20, que reúne a las principales economías del mundo, representadas por estos países. El G20 debe tener la previsión necesaria para aliviar las perturbaciones económicas y sociales que traerá la próxima pandemia y otras transiciones críticas futuras. Hemos trabajado en este último año en los problemas del COVID-19, a nivel planetario y de las personas, que deben verse de manera integral y con plena apreciación de su complejidad e interconexión. Los resultados alcanzados han sido entregados a las autoridades de cada país del G20. Las conclusiones indican la necesidad global de estar preparados para una colaboración internacional no sólo en la actual pandemia, sino para promover investigaciones, monitorear y responder rápidamente a las enfermedades emergentes de pandemias futuras. Las conclusiones y recomendaciones están disponibles en la página web de la Academia. Nuestras recomendaciones fueron discutidas en la reunión virtual plenaria de los presidentes del G20 y fue una de las principales recomendaciones de la reunión.

La Academia participa en el análisis de diversos problemas que requieren una opinión fundamentada, como ha sido las implicancias de la reciente Ley de los Glaciares y el medio ambiente. Este año hemos trabajado con un grupo de expertos de las más diferentes instituciones y empresas sobre “Residuos plásticos: su impacto en la salud humana, el ambiente natural y los ecosistemas”, editando un libro ya terminado para concientizar de la acuciante contaminación de los océanos y las costas con estos residuos. Estos libros editados por la Academia tienen amplia difusión, no sólo en las autoridades específicas del gobierno, sino que se ponen a disposición de toda la sociedad en forma gratuita.

Otra actividad que viene desde hace años realizando la Academia es el otorgamiento de becas. Por donación de la Ing. Irma Mastronardi en el año 2000 se ofrecen las becas “In libris Carpe Rosam” en Matemáticas y en Ciencias Biológicas para estudiantes de la Universidad de Buenos Aires, menores de 22 años de edad y con dedicación exclusiva a las áreas mencionadas. Por donación del académico Dr. Rodolfo Brenner en 2017, antes de su fallecimiento se ofrecen becas para llevar a cabo un trabajo postdoctoral en el Instituto de Investigaciones Bioquímicas de La Plata. Ambas han tenido y tienen mucha aceptación.

A su vez nuestra institución trata de comunicarse con la sociedad a través de sus “Encuentros con la Academia” sucesores de nuestros clásicos cafés científicos que realizábamos en el Café Tortoni. Este ciclo que sigue siendo conducido por Nora Bär lleva ya varios años de éxito y ha tratado los

más diversos problemas en distintas disciplinas, con una buena acogida del público. El año pasado ante a persistencia de la pandemia seguimos con nuestros encuentros virtuales, que se vienen realizando en conjunto con el C3 del Ministerio de Ciencia y Tecnología y que quedan disponibles en nuestro canal de YouTube. Esta actividad contribuye a concientizar de estos problemas a la sociedad.

Sin embargo, una de las actividades más gratas de la Academia es reconocer a jóvenes científicos que se destacan por el resultado de sus investigaciones, por el impacto que producen en las distintas disciplinas y que permiten visualizar el activo presente de nuestra ciencia que nos augura un mejor porvenir.

Por otra parte, es importante reconocer también aquellos que han dedicado toda una vida al progreso de la ciencia, no sólo para mostrarles nuestro afecto, sino que estos premios a los consagrados sirvan de ejemplo para las nuevas generaciones.

A continuación se hará entrega de los Premios.

Víctor A. Ramos
Presidente ANCFN

PREMIOS CONSAGRACIÓN



En Ciencias Biológicas: Dra. María Isabel Colombo
CCT CONICET Mendoza
Facultad de Ciencias Médicas, U.N. de Cuyo - CONICET



En Física: Dra. Ana María Llois
Unidad Ejecutora Instituto de Nanociencia y Nanotecnología,
Nodo Constituyentes, CONICET



En Ciencias de la Ingeniería: Dr. Carlos A. Querini
Instituto de Investigaciones en Catálisis y Petroquímica "Ing.
Jose Miguel Parera", Centro Científico Tecnológico CONICET,
Santa Fe

PREMIOS ESTÍMULO



En Ciencias de la Ingeniería: Dra. María Vanina Martínez
Universidad de Buenos Aires - CONICET



En Matemática: Dr. Daniel Eric Galicer
Universidad de Buenos Aires



En Física: Dr. Gustavo Grinblat
Facultad de Ciencias Exactas y Naturales
de la Universidad de Buenos Aires - CONICET



En Astronomía: Dr. Juan Pablo Caso
Universidad Nacional de La Plata



En Ciencias Biológicas: Dr. Javier Nori
Instituto de Diversidad y Ecología Animal, IDEA, CONICET y
Universidad Nacional de Córdoba



En Ciencias la Tierra: Dr. Mauro G. Spagnuolo
Facultad de Ciencias Exactas y Naturales
de la Universidad de Buenos Aires



En Ciencias Químicas: Dr. Waldemar A. Marmisollé
INIFTA- CONICET

PREMIO INNOVACIÓN TECNOLÓGICA



Proyecto Glicerol como materia prima para refinería
Ing. Raúl A. Comelli y equipo
Centro Científico Tecnológico CONICET, Santa Fe

BECAS

Becas “*In Libris Carpe Rosam*”

Por donación de la Ing. Irma Mastronardi en memoria de sus hijos desaparecidos, desde 1999 esta Academia ofrece las becas “*In Libris Carpe Rosam*” en Matemática y Ciencias Biológicas, respectivamente. Estas becas están destinadas a estudiantes de la Universidad de Buenos Aires, menores de 22 años de edad, y con dedicación exclusiva a las dos áreas mencionadas.

Los beneficiarios de estas becas deben informar a la Academia acerca del avance de sus estudios y al finalizar la misma deben presentar un breve ensayo que refleje sus ideas y opiniones acerca de un acontecimiento nacional o internacional ocurrido en el lapso de la beca, que implique el cercenamiento de derechos humanos, discriminación de cualquier tipo, o que ponga trabas al progreso del conocimiento. Estos ensayos pueden leerse en la página web de la Academia (www.ancefn.org.ar), en el apartado de Becas.

A continuación se detallan los becarios vigentes durante el año 2021.

Lourdes Materazzi (Cs. Biológicas; período de la beca: 2020 - 2021), ensayo presentado: Quedate en casa: mujeres en cuarentena

Diego Martín Topsakalian (Cs. Biológicas; período de la beca: 2019 - 2021), ensayo presentado: COVID-19: infodemia y estigma

Nicolás Chehebar (Matemática; período de la beca: 2019 - 2021), ensayo presentado: La educación y el capital del conocimiento

Lucas de Amorin (Matemática; período de la beca: 2018 - 2021), ensayos presentados: Ministerios y secretarías, son lo mismo? y Octubre, un mes movido para América Latina

Emiliano Liwski (Matemática; período de la beca 2021-2024), ensayo presentado: La ética y el coronavirus

Cecilia Duhau (Matemática; período de la beca 2021-2023), ensayo presentado: Aprendizaje, pandemia y virtualidad

Lara Falcucci (Cs. Biológicas; período de la beca: 2021 - 2023)

Santiago Dhers (Cs. Biológicas; período de la beca: 2021 - 2023), ensayo presentado: La brecha de la educación en Argentina

Beca “Carlos y Eduardo Brenner”

Creada y solventada con fondos donados por el Dr. Rodolfo R. Brenner, a la Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales.

Ivana Ducrey (período de la beca: 2020 - 2022, por renuncia)

COMUNICACIONES CIENTÍFICAS



GEORGIUS AGRICOLA: A CUATROCIENTOS SESENTA Y CINCO AÑOS DE LA EDICIÓN DE SU *De Re Metallica*

Enrique J. Baran

Académico Emérito de la Academia Nacional de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales
E-mail: baran@quimica.unlp.edu.ar

Palabras clave

Georgius Agricola
Vida y obra
Publicaciones
principales
“De Re Metallica”
Antecedentes
importantes
Contenido y
trascendencia
Mineralogía y
ciencias químicas

Resumen Se presenta un breve bosquejo biográfico de Georgius Agricola y se analiza su actividad personal y científica así como el contenido e impacto de sus principales publicaciones en los campos de la minería, geociencias, metrología y medicina. Se discuten los antecedentes más importantes de su obra magna “*De Re Metallica*”, publicada en 1556, entre ellos los escritos de Plinio El Viejo, San Alberto Magno, “*Ein Nützlichtes Bergbüchlein*” de Ulrich Rülein y la “*Pirotecniá*” de Vannoccio Biringuccio. Se analiza en detalle el contenido de “*De Re Metallica*” y se comentan algunos de sus aspectos particulares de mayor impacto y trascendencia. Se hacen referencias acerca de ediciones posteriores de la obra y sus traducciones a diversos idiomas, entre ellas, la importante traducción al inglés realizada por el futuro Presidente de los EEUU de NA, Herbert C. Hoover y su esposa Lou Henry Hoover. Finalmente, se analiza el impacto que esta y otras obras similares tuvieron sobre el desarrollo no solo de la minería y la metalurgia, sino también sobre las Ciencias Químicas.

Keywords

Georgius Agricola
Live and work
Principal
publications
“De Re Metallica”
Important
antecedents
Content and
transcendence
Mineralogy and
chemical sciences

Abstract Georgius Agricola: at four hundred and sixty five years of the edition of his *De Re Metallica*. A brief biographical sketch of Georgius Agricola is presented and its personal and scientific activity, as well as the content and impact of his most important publications in the fields of mining, geosciences, metrology and medicine are analyzed. The most important antecedents of his great work “*De Re Metallica*”, published in 1556, including the scripts of Plinius the Elder, Saint Albertus Magnus, “*Ein Nützlichtes Bergbüchlein*” from Ulrich Rülein and the “*Pirotecniá*” of Vannoccio Biringuccio are discussed. The content of “*De Re Metallica*” is analyzed in detail and some aspects of particular impact and relevance are commented.

References to different later editions of the work and on its translations to different languages are also given, in particular to the important English translation performed by the later USA president Herbert C. Hoover and his wife Lou Henry Hoover. Finally, the impact of this and other similar works not only on the development of mining and metallurgy, but also on chemical sciences in general, is analyzed.

1. Introducción

Cuando se analizan los nombres de algunos científicos y pensadores destacados que actuaron en la primera mitad del siglo XVI nos encontramos con figuras tales como las de Paracelso (1493-1541), Girolamo Cardano (1501-1576), Gerardus Mercator (1512-1594), Konrad von Gesner (1516-1565), Bernard Palissy (1510-1589), Andrés Laguna (1499-1559), Leonhart Fuchs (1501-1566), Niccoló Tartaglia (1499-1557) o Hyeronimus Tragus (1498-1554), entre otros. Estos nombres están claramente asociados a los inicios o primeros desarrollos de muchas de las disciplinas científicas modernas. Y casi todos estos hombres, figuras importantes del Renacimiento, tenían una visión muy amplia y muchos intereses e inquietudes científicas, dedicándose generalmente al estudio simultáneo de diferentes aspectos de la Ciencia.

Y la figura de Georgius Agricola (1494-1555) es también muy claramente una de esas personalidades renacentistas, que actuaron en el período mencionado, y cuya actividad abarcó una variedad de ámbitos y de espacios, incluyendo la medicina y farmacia, la geología, la minería y la metalurgia e, incluso, algunos aspectos de la zoología. Pero desde una perspectiva histórica más amplia su nombre ha quedado indisolublemente unido a la minería y a la metalurgia, fundamentalmente basado en su obra magna, *De Re Metallica*, que constituyó un hito fundamental para el desarrollo de estas actividades y tuvo una vigencia profunda, larga e increíblemente influyente, a lo largo de varios siglos (Craddock 1994).

2. Georgius Agricola: Breve bosquejo biográfico*

* Este bosquejo biográfico fue realizado en base al trabajo de Craddock (1994) y a la información existente en el *Agricola-Forschungszentrum Chemnitz* (<http://www.georgius-agricola.de>). Este Centro de Investigaciones, destinado a perpetuar la memoria y a extender la obra de Georgius Agricola, fue creado en 1996 con la participación de la Universidad Técnica de Chemnitz, el Archivo Estatal, el Museo Montanístico, la Biblioteca Estatal y la Sociedad de Estudios Históricos de Chemnitz.

Georgius Agricola (Fig. 1), en realidad se llamaba Georg Pawer (o Bauer) nació en el pequeño pueblo de Glauchau, cercano a Chemnitz en el estado de Sajonia, Alemania, el 24 de marzo de 1494, como hijo de un tejedor. Recibió la instrucción básica habitual en su época y a los 19 años se matriculó en la Universidad de Leipzig. Entre sus maestros merece mencionarse el nombre de Petrus Mosselanus un gran erudito renacentista, muy relacionado a Lutero,

Erasmus de Rotterdam y Ulrich von Hutten. Tres años y medio después recibió su primer grado académico de *Baccalaureus artium* y a partir de allí latinizó su nombre como Georgius Agricola.



Fig. 1. Georgius Agricola

A partir de 1518 comenzó a trabajar como maestro de latín en la Escuela Estatal de Zwickau, una escuela muy renombrada y localizada en la ciudad a la que en ese momento se llamaba “la Perla del Estado Sajón” y que estaba ubicada en las cercanías de los Montes Metalíferos (Erzgebirge), lo que significó para Agricola su primer contacto con la minería y las importantes actividades mineras de esa región. Poco tiempo después se le encomendó también el dictado de clases en idioma griego y, asimismo, publicó su primer libro, un pequeño tratado de gramática latina.

En 1522 dejó su cargo en la Escuela y retornó a Leipzig y trabajando, probablemente, como asistente de Mosselenus, para perfeccionarse en filología y lenguas antiguas. Al poco tiempo inició, también en la misma Universidad, estudios de Medicina. Los mismos estaban totalmente restringidos al estudio de las teorías de los clásicos, Hipócrates, Galeno y Avicena y las prácticas curativas no eran demasiado incentivadas. En visto de ello, el joven Agricola decidió continuar su formación médica en Italia, comenzando los mismos inicialmente en la Universidad de Bolonia teniendo también aquí simultáneamente la oportunidad de perfeccionar sus conocimientos de latín, griego y hebreo. Luego, a partir de 1524, continuó sus estudios por dos años en Venecia, donde tanto la anatomía práctica como la cirugía ya habían alcanzado un fuerte desarrollo.

En Venecia tuvo también la oportunidad de trabajar en una importante casa editorial, donde junto a un sólido equipo de trabajo participó en la edición griega de los trabajos de Galeno (5 tomos y casi 2900 páginas) y en la edición de algunos de los trabajos de Hipócrates. A continuación realizó breves estancias en Murano, Florencia, Siena, Nápoles, Roma y Padua, obteniendo

finalmente el grado de *Doctor medicinae* (el lugar y la fecha de su promoción, lamentablemente no llegaron a conocerse). En esa época parece que también llegó a conocer a Erasmo, quien trabajaba como editor de la importante empresa editorial Froben, de Basilea. A partir de allí inició una fuerte amistad con Erasmo, quien llegó a admirarlo y a apreciarlo profundamente y finalmente también esa casa editorial suiza fue la que publicaría la mayoría de sus libros. Finalmente en 1526, con su nuevo título de médico y con toda la experiencia adquirida en Italia regresó a su patria sajona.

Después de una breve estadía en Zwickau, en 1527 se instaló brevemente en Chemnitz, donde en el otoño de ese año se casó con Anna Meyner y al poco tiempo la pareja se trasladó a St. Joachimsthal, un pueblo minero en la región bohemia del Erzgebirge, comenzando allí uno de los períodos más fructíferos de su desarrollo científico. Allí empezó a trabajar como médico y farmacéutico y además empezó a tomar contacto estrecho con la actividad minera, ya que en esa región funcionaban más de 900 explotaciones, fundamentalmente de minerales de plata y otros minerales no ferrosos transformando a esta región en uno de los centros mineros más prolíficos de Europa, cuyos métodos de extracción, fundición y refinado también eran los más avanzados de la época a nivel mundial.

Sus primeras experiencias en el campo de la minería y la metalurgia se volcaron en su libro "*Bermannus, sive de re metallica*" ("Bermannus o un diálogo sobre la minería"), escrito en forma de diálogos filosóficos, en cuyo título honra a su amigo Lorenz Wermann (en latín no se conoce la letra W, por eso aparece el apellido latinizado de Bermannus) y en el que se analiza el estado minero de la región, se trata de explicar el origen de diversos minerales y las relaciones entre ellos, buscando también de sistematizar muchas de sus observaciones y, en algunos aspectos, muchas de ellas fueron bastante revolucionarias para la época. La obra fue muy elogiada por Erasmo, y por su intermedio, fue publicada por la ya mencionada editorial Froben, en 1530. El libro apunta también a la manera de programar futuras investigaciones mineras y a la posibilidad de aplicar algunos minerales en el campo de la Medicina. De alguna manera, esta obra encierra ya todo el programa de vida de su autor

En 1531 Agricola regresa a Sajonia, instalándose en Chemnitz donde es designado en el cargo de Médico-Estatal. Este trabajo, afortunadamente, le deja suficiente tiempo libre como para seguirse dedicando a sus estudios científicos y técnicos. De esa primera época en Chemnitz surge como resultado de sus estudios de metrología su libro "*De mensuris et ponderibus Romanorum atque Graecorum*" (Pesos y medidas de los romanos y griegos). En los cinco libros que componen esta obra ordena y compara los sistemas de pesos y medidas de romanos y griegos, analiza las deformaciones que sufrieron a lo largo de los siglos y trata de ordenar estos sistemas para volverlos útiles a los usuarios de su época. Además, considera su correcta

aplicación como de fundamental importancia para el correcto manejo de medicamentos y fármacos.

Pero más importante resultan los trabajos en los que trata de obtener una visión de toda la evolución de la Naturaleza, en particular centrado en la minería y en una gran variedad de problemas geológicos-mineralógicos. Estos estudios llevaron a la publicación en 1546, también en Basilea, de su obra "*De natura fossilium, Libri X*" (Los minerales, en diez Libros), la que rápidamente popularizó su nombre más allá de las fronteras de su patria. Esta obra puede considerarse realmente como el primer tratado de Mineralogía. En el Libro I se presentan los diferentes tipos de minerales conocidos y sus propiedades, el segundo se refiere a tierras, el tercero y cuarto a cuerpos sólidos, el quinto a rocas, el sexto a piedras preciosas, el séptimo a los diferentes tipos de mármoles y los tres últimos Libros se refieren a los metales y a las vetas metalíferas. Analizada en su conjunto, esta obra no tiene precedente alguno y constituye el primer intento de dar una visión completa del mundo mineral, fundamentada científicamente y mostrando también múltiples aplicaciones prácticas de este mundo fascinante.

A pesar de que Agricola era un católico ferviente mantuvo siempre una muy excelente relación con el Duque Mauricio de Sajonia-Meissen, luego Elector de Sajonia, que era protestante. Es más, el Duque lo admiraba y respetaba muchísimo y lo incentivaba constantemente en sus estudios e investigaciones ya que, seguramente, había intuido que esos trabajos llegarían a ser altamente beneficiosos para su reino, fuertemente dependiente de las explotaciones mineras. Adicionalmente, en 1546 lo presionó para que ocupara el cargo de burgomaestre de la ciudad. Esta nueva actividad, que desempeñó por cuatro períodos, seguramente afectó sus tareas habituales ya que se vio involucrado en muchas obligaciones y deberes nuevos, tales como participar en reuniones políticas y administrativas, firma de contratos y representación de la ciudad en foros diplomáticos. Asimismo, muchas veces acompañó al Duque en misiones diplomáticas y, por un breve período, en actividades militares, en la así llamada Guerra de Esmalcalda (1546-47).

Pero a pesar de todas estas nuevas tareas y deberes, logró seguir avanzando en los temas que le seguían interesando, publicando algunos nuevos escritos sobre pesos y medidas y sobre el uso y valor de monedas en Europa. Y aún logró terminar una obra importante más, "*De ortu et causis subterraneorum*" (El origen de las sustancias en el interior de la tierra), dedicada a la geología general y que significó un avance importante en la geografía física y en el estudio de la génesis de los minerales. A este siguió bien pronto un librito más pequeño, "*De veteribus et novis metallis libri*" (El libro de minas antiguas y nuevas) donde se hace una breve historia del desarrollo de la minería. Y además siempre logró seguir trabajando, aun intermitentemente, en su obra magna, "*De Re Metallica*", que lo venía ocupando desde su estadía en St. Joachimstahl. La obra quedó aparentemente

concluida en 1550 y llegó a la editorial Froben en 1553 aunque fue definitivamente publicada recién tres años después.

En 1549 también había publicado su “*De animantibus subterraneis liber*” (El libro subterráneo viviente) que contiene algunas muy interesantes y novedosas reflexiones sobre la zoología. Su último escrito, publicado en Basilea en 1554 es un estudio de tipo médico, “*De peste*” (La peste), seguramente originado por una epidemia de peste desencadenada en la Alta Sajonia en 1552/53, en el mismo se analizan los orígenes, características y consecuencias de este brote, así como su tratamiento. Desde el punto de vista médico este trabajo fue muy valorado por su claridad metodológica y la descripción de diferentes formas de la peste.

Georgius Agricola falleció en Chemnitz el 21 de noviembre de 1555, a la edad de 61 años y fue sepultado en la Catedral de San Pedro y San Pablo de la ciudad de Zeitz.

3. De Re Metallica: Antecedentes

Como ya se mencionara, esta obra fue la más importante en toda la producción de Georgius Agricola y constituyó un hito fundamental en el desarrollo de la minería y la metalurgia, inmortalizando el nombre de su autor.

3.1. Metales conocidos en el Renacimiento

Cuando se analiza la historia del descubrimiento de los elementos químicos (Weeks 1960) puede verse de inmediato que a mediados del s. XVI sólo se conocían muy pocos elementos metálicos. Los metales que se conocían en el Mundo Antiguo fueron, sin duda, el oro, la plata, el hierro, el cobre, el plomo, el estaño y el mercurio, que aparecen mencionados en la *Historia Natural* de Plinio el Viejo así como en trabajos de Discórides y en escritos hindúes y hebreos (p. ej. el Antiguo Testamento: Números 31, 22; Daniel 2, 32-33, 5,4) (Weeks 1932a, 1960).

Por otra parte, si bien los sulfuros de arsénico y antimonio también se conocían desde la Antigüedad, los dos elementos recién fueron aislados en tiempos de los alquimistas. El descubrimiento del arsénico habitualmente se atribuye a San Alberto Magno (1193-1280) y también aparece mencionado en escritos de Paracelso. Respecto del antimonio, muchas veces se ha atribuido su primer aislamiento al monje benedictino Basilio Valentino, que habría trabajado en el s. XV, aunque esto ha sido motivo de reiteradas disputas, también Agricola parece haber trabajado con el metal al que llamaba “stibium”. Otro metal conocido desde antiguo, pero no claramente

caracterizado inicialmente es el bismuto, al que muchas veces se confundió con el estaño o con el plomo, y recién los alquimistas trataron de aislarlo. Asimismo, se ha encontrado que algunas aleaciones preparadas a mediados del s. XV, contienen este elemento y el mismo aparece también vagamente mencionado en escritos de Paracelso y recién Agricola en su “*De Natura Fossilium*” afirma que es un metal diferente a Pb y Sn, y logra diferenciar a los tres metales por sus propiedades físicas (Weeks 1932b, 1960).

3.2. Libros y otros escritos previos

Trabajos sobre metales o minería son extremadamente raros en la antigüedad. Parece ser que en la Antigua Grecia, Teofrasto (371AC-287AC), discípulo de Platón y Aristóteles y muy interesado en las ciencias naturales, especialmente en la botánica, habría dejado algunos escritos sobre los metales, al igual que Estratón (335AC-269AC), su sucesor en la dirección del Liceo, que habría escrito un libro titulado “*De Machinis Metallicis*”. Sin embargo, estos trabajos están perdidos. La única obra de la Antigüedad que ha llegado a nosotros y que incluye bastante información sobre metales es la “*Naturalis Historia*” de Plinio el Viejo (Craddock 1994).

3.2.1. Plinio el Viejo: *Naturalis Historia*

Cayo Plinio Secundo (conocido como Plinio el Viejo, para diferenciarlo de su sobrino, Plinio el Joven) nació en Como en el año 23 DC y falleció en Estabia, durante la erupción del Vesubio en el año 79 DC. Tuvo una activa carrera militar iniciada desde muy joven, pero también realizó estudios de filosofía y retórica. Como militar actuó en diferentes regiones del Imperio y durante al gobierno de su amigo, el emperador Vespasiano, fue procurador romano en Galia y en Hispania. Pero a pesar de sus intensas actividades militares y como funcionario del estado romano, fue siempre un dedicado y perceptivo estudioso, publicando diversos trabajos, por ejemplo, uno sobre las técnicas de combate a caballo, diversas crónicas de hechos históricos y una historia de Roma, todas ellas perdidas, aunque citadas frecuentemente por otros autores posteriores, lo que habla de su impacto (Mellein, 2016).

La única de sus obras que ha llegado a nosotros, es la última que encaró y cuya publicación final fue realizada por su sobrino luego de su muerte. Se trata de su *Historia Naturalis*, una de las mayores obras individuales que ha sobrevivido del Imperio Romano y que pretendía abarcar todo el conocimiento que en ese momento se tenía. Está dividida en 37 libros y su temática no se limita a lo que hoy conocemos como Historia Natural, sino que abarca temas de matemática, astronomía, geografía, zoología, botánica, farmacología, minería y muchas otras, incluyendo diverso tipo de leyendas, fábulas y rumores.

Esta *Historia Natural* llegó a ser el modelo de posteriores Enciclopedias, por la cantidad de temáticas y trabajos que abarca y las referencias que realiza de los autores originales. Plinio entiende que su obra es un aporte al pueblo romano y a todo el género humano para que pueda comprender mejor el mundo que lo rodea, presentándole un compendio de los conocimientos de la época acerca del universo y de muchas disciplinas prácticas (Ramos Maldonado 2013).

De los 37 libros que abarca la obra, los volúmenes 33 y 34 están dedicados a metales (principalmente a oro, plata, mercurio y bronce) y los últimos tres (35-37) se enfocan en variados aspectos de la mineralogía y sus aplicaciones. Aunque se discuten diversos aspectos de la extracción y de la fundición de metales, resulta claro que para Plinio el interés principal de los metales estaba relacionado a la fabricación de objetos de arte y los minerales como fuentes de productos farmacológico-médicos. Los procesos tecnológicos están descriptos muy brevemente y con escaso detalle, mostrando que Plinio nunca estuvo involucrado directamente en los mismos (Craddock 1994).

3.2.2. San Alberto Magno

Alberto Magno (también conocido como Albert von Lauingen o Albertus Coloniensis) nació en Lauingen/Baviera, probablemente hacia 1193. Estudió en Padua, Bolonia y París y en 1223 se incorporó a la Orden de los Dominicos. Fue un hombre muy activo, inquieto y dedicado, interesándose en una gran variedad de problemas y desarrollando una gran actividad docente, impartiendo clases en diversos lugares de Alemania, así como en París y transformándose pronto en una figura muy reconocida por su capacidad intelectual. Se dice que muchas veces sus clases debía dictarlas al aire libre porque no había espacio capaz de albergar al enorme número de interesados que querían escucharlo. Santo Tomás de Aquino fue uno de sus discípulos y de alguna manera fue el continuador de su obra teológica. Se interesó profundamente por las Ciencias Naturales adquiriendo un notable conocimiento de muchas de ellas. Alberto fue el primero en presentar a sus contemporáneos la obra de Aristóteles, así como los comentarios de los mismos contenidos en escritos hebreos y árabes y él mismo completó muchos de estos escritos con ideas de otros filósofos y con las suyas propias. Asimismo, bregó fuertemente para integrar la Ciencia con la Religión, buscando mostrar una visión del orden natural, basada en su visión filosófica del Cristianismo (Störig 1969; Cudeiro 2016).

Durante su vida logró acumular una enorme cantidad de escritos y de estudios. Esta actividad llegó a transformarlo en uno de los más grandes eruditos de Occidente y un santo de talla universal, de ahí el apelativo de Magno o “Doctor Universalis” que ha merecido en el campo del conocimiento.

También se destacó como filósofo y teólogo, dejando una gran cantidad de escritos místicos.

En 1254, el Papa Alejandro IV lo designa como Obispo de Regensburg, cargo que ocupó hasta 1263, en que regresó nuevamente a Colonia. En esa ciudad falleció el 15 de noviembre de 1280. Sus obras completas, recogidas en 21 volúmenes, fueron publicadas en Lyon en 1629. Fue beatificado en 1622 y en 1931 el Papa Pío XI lo proclamó Doctor de la Iglesia, lo que equivalía a su canonización. Más adelante, en 1941, Pío XII lo declaró Patrono de los estudiantes y científicos de las Ciencias Naturales (Cudeiro 2016).

San Alberto Magno nos dejó la obra mineralógica más importante y trascendente de la Edad Media, “*De Mineralibus Liber V*” (esto es, cinco libros sobre minerales), que fueron editados originalmente en Padua. En los libros I y II se habla de los minerales, en los III y IV de los metales y en el volumen V se describen lo que él llama “intermedios”, es decir los materiales ubicados entre minerales y metales (son los que genéricamente hoy llamaríamos sales). En el caso de los minerales se discute su probable origen, sus colores, porosidad y dureza. El libro II se dedica fundamentalmente a las piedras preciosas, describiéndose, en orden alfabético, 96 de ellas. En el caso de los metales, en el libro III se describen aspectos generales de ellos mientras que en el IV se describen fundamentalmente los metales Hg, Pb, Sn, Ag, Cu, Au y Fe. Finalmente, en el libro V se describen básicamente diversas sales como la halita, algunos sulfatos, el alumbre, el oropimente y la piritita, entre otros (Marx 1999).

Por otro lado, y como ya se mencionara anteriormente, el aislamiento inicial del arsénico siempre ha quedado también asociado a su nombre (Weeks 1932 b, Schwendt 2011).

3.2.3. *Ein nützlich Bergbüchlein*

El libro “*Ein nützlich Bergbüchlein*”, esto es “Un Útil Librito de Minería” fue uno de los primeros textos científicos y el primero en lengua alemana, dedicado a los minerales y a la minería. Fue publicado inicialmente alrededor de 1500, sin mención de su autor y del lugar de impresión (Armstrong y Lukens, 1939). Georg Agricola conocía muy bien esta obra y en su *De Re Metallica* la menciona varias veces, como un libro muy útil, y consideraba que su autor era Ulrich Rühle von Calw, conocido como Calbus Freibergius. La autoría parece haber quedado claramente confirmada por estudios posteriores (Pforr, 1996).

Se trata de un volumen pequeño de sólo 46 páginas y que contiene 13 grabados en madera (Fig. 2). Como forma literaria se utiliza un diálogo entre un experto que contesta las preguntas de su joven aprendiz. A lo largo de todo

el siglo XVI el libro tuvo varias reediciones (nueve, ya en los primeros 40 años luego de su aparición). También es interesante que la obra fuera escrita en idioma alemán y no en latín, que era la lengua en que habitualmente se presentaban los escritos científicos. Esto ya muestra claramente la intención del autor, que era la de difundir y popularizar las actividades y técnicas mineras entre sus conciudadanos. La explotación de plata en la región de Freiberg, donde se originó el texto, tenía ya una tradición de más de 300 años. Por esta razón los minerales superficiales ya estaban agotados y había que trabajar a profundidades cada vez mayores, lo que implicaba diversos novedosos desafíos técnicos que el libro trataba de mostrar.



Fig.2. Portada de una de las ediciones (1527) del “*Bergbüchlein*”.

En el diálogo se discute la posible génesis de los minerales, en una discusión fuertemente influenciada por ideas alquimistas y astrológicas. También se presentan los aspectos económicos relacionados a las explotaciones mineras que deberían considerarse antes de iniciar una explotación. Una parte importante del libro, dividido en 10 capítulos, está dedicado obviamente a la explotación de la plata pero también se discuten y analizan aspectos importantes relacionados a los metales Au, Cu, Fe, Hg, Sn y Pb. Asimismo, se hace una breve referencia a un metal que aparece asociado a algunos minerales de plata, en lo que podría ser la primera mención conocida referida al bismuto.

En lo que hace al autor del “*Büchlein*”, Ulrich Rülein, nació alrededor de 1465 en la pequeña ciudad de Calw (en el actual estado alemán de Baden-Württemberg) y a partir de 1485 estudió en la Universidad de Leipzig, donde en 1491 se graduó de “*Magister Artium*” y hasta 1497 prosiguió con estudios de Matemática y Medicina y mientras terminaba sus estudios de Medicina fue profesor de Matemática en la Universidad. Después de recibir el grado de

“*Doctor Medicinae*”, se trasladó a la ciudad de Freiberg en Sajonia, uno de los centros mineros más importantes de Europa. Allí desempeñó durante 25 años una intensa actividad como médico de la ciudad y médico personal del Duque de Sajonia (Enrique V de Sajonia-Meissner, apodado el Piadoso (1473-1541)), que residía en esa ciudad. Como médico también dejó sus huellas en el campo de la lucha contra la peste, publicando en 1521 un libro sobre este tema en el que da instrucciones muy precisas para el tratamiento médico y la curación de los enfermos. Asimismo, realizó también algunas modificaciones importantes en el cementerio más viejo de la ciudad (Donatsfriedhof, s. XII/XIII), para lograr la adecuada sepultura de los muertos infectados por la enfermedad. También fue por más de diez años (1509-1519) miembro del Consejo Administrativo y durante dos períodos (1514, 1517) fue el burgomaestre de la ciudad. En el marco de estas actividades se interesó y ocupó fuertemente en el mejoramiento de la enseñanza, logrando que en 1514 se creara una Gimnasio humanístico, que fue el primero de su tipo en Sajonia y en el que fundamentalmente se propugnó la enseñanza de conocimientos idiomáticos y de las ciencias naturales. Los alumnos más destacados de esta nueva Escuela fueron los dos hijos del Duque Enrique, Mauricio y Augusto. El primero sucedió a su padre en 1548 y el menor sucedió posteriormente a su hermano.

Debido al hecho de ser el médico personal del Duque Enrique, Rülein mantenía un contacto estrecho y continuado con el mismo llegando a ser también su asesor en todos los temas relacionados a la explotación minera. De esta manera, al descubrirse nuevos depósitos mineros explotables, en una región al sur de Chemnitz, el Duque le encomendó no sólo encargarse de la puesta en marcha de esa nueva explotación sino también de planear y supervisar la construcción de un pueblo minero en esa región, el que posteriormente llevó el nombre de St. Annaberg, y que en pocos años se transformó en una ciudad relativamente grande e importante dentro de Sajonia.

En 1519, y aparentemente debido a algunas desavenencias relacionadas con el funcionamiento del Gimnasio creado por él, se trasladó nuevamente a Leipzig, donde por poco tiempo fue profesor de Medicina en la Universidad de esa ciudad. En 1521 el Duque Enrique volvió a convocarlo de manera urgente, para encomendarle la planificación y construcción de un nuevo pueblo minero, que luego llevó el nombre de Marienberg. En el bosquejo de esta nueva ciudad Rülein utilizó por primera vez en Alemania, muchas nuevas ideas relacionadas con los enfoques urbanísticos del renacimiento italiano, llegando a crear una estructura general muy novedosa y atractiva. Seguidamente, se trasladó nuevamente a Leipzig, donde falleció en 1523 (Pforr 1996).

3.2.4. Vannoccio Biringuccio y su *Pirotechnia*

El libro “*De la Pirotechnia*” del italiano Vannoccio Biringuccio, publicado en Venecia en 1540, puede considerarse no sólo como el antecedente más cercano sino seguramente también como el más importante antes de la obra de Agricola.

Vannoccio Biringuccio nació en Siena en 1480 y falleció en Roma en 1539. Fue uno de los más influyentes hombres de la ciencia y la tecnología italiana del último período medieval. La literatura lo menciona como ingeniero, metalurgista, mecánico, fundidor de cañones y campanas, fabricante de armas, pólvora y fuegos de artificio, así como maestro constructor y arquitecto y experto en temas químicos. Sin embargo su trascendencia está claramente asociada a la edición póstuma de su obra “*De la Pirotechnia libri X.*” (Naumann, 2016).

Se ha logrado establecer que Biringuccio estudió Matemática y Ciencias Naturales y desde muy joven se interesó por las actividades mineras y por la metalurgia del hierro. Gozó de los favores de Pandolfo Petrucci, y luego de la muerte de éste, de su hijo Borghese Petrucci, ambos figuras políticas dominantes de Siena durante muchos años. La familia Petrucci le encomendó la supervisión de su explotación minera de hierro en Boccheggiano, al sur de Florencia y más tarde organizó para ellos y algunos asociados, varias explotaciones de plata en la región alpina. A raíz de estas actividades tuvo la oportunidad de realizar diversos viajes a lo largo de Italia y también de visitar Austria y Alemania, para interiorizarse de los procesos minero-metalúrgicos que allí se empleaban (Naumann 2016).

Debido a diversos vaivenes políticos y militares muy comunes entre los diferentes territorios que conformaban la Italia de esa época y debido a su relación con los Petrucci, en reiteradas oportunidades tuvo que exilarse de Siena junto a ellos, llevando a veces una vida errante, pero siempre rica en nuevos conocimientos y aprendizajes. En uno de esos exilios estuvo un breve tiempo radicado en Ferrara al servicio del Duque Alfonso I d’Este (1476-1534), un destacado hombre público y militar y famoso mecenas del Renacimiento. Posteriormente, en uno de sus regresos a Siena, fue nombrado Arquitecto del Estado. Asimismo, continuó con la construcción de cañones y la fabricación de pólvora y también consiguió por un tiempo el monopolio de la producción de salitre de todo el territorio de Siena. Durante un tiempo estuvo también al servicio de Pierluigi Farnese, hijo del Papa Paulo III. Por un tiempo se desempeñó también como Senador en Siena y realizó, asimismo, algunas tareas arquitectónicas importantes en la ciudad como sucesor del famoso artista y arquitecto Baldassarre Peruzzi (1481-1536), entre ellos algunos trabajos en la famosa Catedral de la ciudad. Finalmente en 1538, un año antes de su muerte, se trasladó a Roma, entrando al servicio del Papa Paulo III, primero como director de las fundiciones romanas, pasando luego a

desempeñarse como director de la fábrica de municiones y jefe de la artillería papal (Naumann 2016).

Su *Pirotechnia*, escrita en italiano, fue editada póstumamente en 1540 en la imprenta de Venturino Ruffinello en Venecia. Contenía 360 páginas y más de ochenta grabados ilustrativos (Fig.3).



Fig. 3. Portada de *De la Pirotechnia* (Venecia, 1540).

En la portada se lee “Los diez libros del arte de la pirotecnia en los que se tratan detalladamente los diferentes tipos de minerales, así también como todo lo necesario para su procesamiento, y también todo lo concerniente a la fundición de metales, y lo relacionado con ello” (Naumann 2016).

La obra está dividida en diez libros, cada uno de los cuales tiene una introducción seguida, en cada caso, de varios capítulos. El Libro I se ocupa de la búsqueda de minerales, a la explotación de canteras y minas, a las herramientas del minero y a la tecnología y obtención de metales (Fe, Au, Ag, Cu, Pb, Sn), así como a la fabricación de acero y latón. En el libro II se abordan otros metales, semimetales y no metales, entre ellos mercurio, azufre y antimonio, arsénico, sales diversas, gemas, vidrios y piedras preciosas. En el libro III se analiza la forma de preparar menas para la fusión y la obtención de metales a partir de sus minerales. En el libro IV se describe la separación de oro y plata y la obtención de oro muy puro, así como la preparación de ácido nítrico. El libro V se refiere fundamentalmente a aleaciones de oro y plata con cobre y de estaño con plomo. El libro VI se centra en la fundición de bronce y la preparación de moldes para la construcción de cañones y campanas. Toda

esta información se extiende en el libro VII, donde se analizan en mayor detalle los métodos para fundir metales y los materiales combustibles utilizados y también se discute la fabricación de municiones para cañones. En el libro VIII se analiza el trabajo con fundiciones pequeñas, destinadas a la elaboración de objetos de arte. El libro IX discute los procedimientos de destilación para la obtención de agua y aceites y los procedimientos de sublimación. Asimismo proporciona detalles sobre la fabricación de monedas y de alambres de Ag, Cu y Au. El último libro se ocupa de la preparación de pólvora y explosivos así como de la de fuegos artificiales para uso militar y festivo (Naumann 2016; Alonso 2019).

La obra tuvo rápidamente varias reediciones en italiano, aparecidas en 1550, 1558 y 1559 (todas editadas en Venecia) y otra en 1678 (en Bolonia). También aparecieron tres traducciones al francés (1556 y 1572 en París, y 1672 en Rouen) y, aparentemente, otras dos ediciones latinas en 1572 (París) y en 1658 (Colonia) (Naumann 2016). Recién en el s. XX la obra tuvo su primera traducción al inglés, en el año 1943, obra del científico e historiador de la Ciencia Cyril Stanley Smith (1903-1992), famoso por su participación en el Proyecto Manhattan, y de Martha Teach Gnudi (1908-1976), traductora e historiadora estadounidense.

Puede considerarse que la *Pirotechnia* fue el primer libro dedicado a la metalurgia en la historia de la Tecnología. Y como bien lo dijera Johann Beckmann (1738-1811) profesor de Economía en la Universidad de Göttingen, que fue el introductor del término “Tecnología” y unos de los iniciadores de la tecnología general como ciencia, “Vannoccio Biringuccio fue el primero en escribir en italiano una Metalurgia y al que cabe la distinción de no haber utilizado, como muchos de sus contemporáneos, información verdadera o falsa contenida en muchos libros, sino de haber realizado en Italia y fuera de ella, observaciones y estudios personales, a partir de los cuales logró presentar y enseñar de forma ordenada muchos trabajos metalúrgicos” (Beckmann 1783; Naumann 2016).

Aunque como se mencionara más arriba, durante su estadía en Italia Agricola visitó Siena, no hay evidencias directas de que hubiera conocido personalmente a Biringuccio aunque, obviamente, ambos llegaron a conocer los escritos del otro. Biringuccio conocía sin lugar a dudas el “*Bermannus, sive de re metallica*” y aunque en su obra no lo menciona explícitamente, en los primeros cinco libros de la misma se hacen evidentes algunas ideas planteadas por Agricola en ese texto. Por su parte, Agricola recibió en 1549 un ejemplar de la *Pirotechnia* como regalo de un monje veneciano y en su *De Re Metallica*, menciona y hace referencias a esta obra varias veces (Naumann 2016).

4. *De Re Metallica*: el primer gran tratado de minería y metalurgia

La redacción y preparación de esta obra llevó una gran parte de la vida activa de Agricola. Ya desde la publicación de su *Bermannus* (1530) tenía aparentemente en mente dedicarse a la escritura de un manual extenso y completo sobre la minería y la metalurgia y todos los temas directamente conectados a ellos. Y se sabe que ya durante su estadía en St. Joachimsthal había comenzado a escribir y a acopiar material para el mismo (Naumann 2006).

Para el título de su obra más importante Agricola utilizó el término latino *metallum* cuya traducción significa tanto “metal” como “minería”, lo que, inicialmente, no permite una descripción exacta de su contenido, aunque el análisis del mismo muestra claramente que engloba a ambos términos (Naumann 2006). En la edición latina original (Fig. 4) los doce libros abarcan 477 páginas, seguidas de cuatro registros/índices. En el primero de ellos, latín-alemán, que abarca uno 1300 términos, se enumeran en forma ordenada los conceptos que aparecen en el texto. En el segundo, también latín-alemán, los conceptos se ordenan alfabéticamente, lo que permite definir muy claramente los diferentes términos técnicos y prácticos enumerados. El tercero es simplemente el índice de la obra en latín y abarca 1452 palabras. En el cuarto y último índice se enumeran brevemente las minas y regiones mineras mencionadas en el texto (Naumann 2006). Por otra parte, el libro está enriquecido con 292 grabados xilográficos, que serán analizados a continuación.

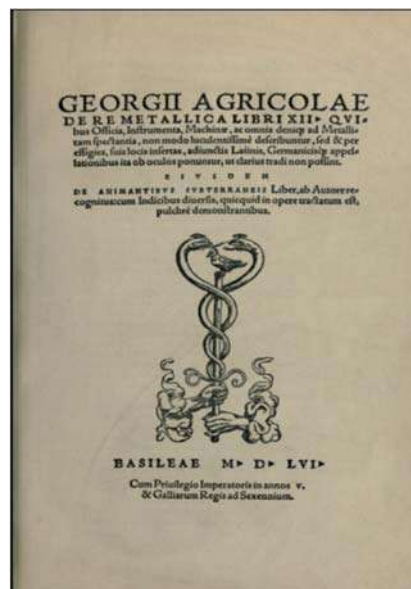


Fig. 4. Portada de la primera edición (1556) de *De Re Metallica*.

Agricola dio una gran importancia a la correcta ilustración de su texto, ya que consideraba esencial que el lector pudiera apreciar en forma clara y

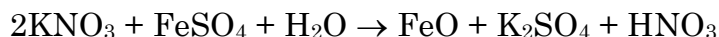
directa muchas de las cuestiones y aspectos que en el mismo se presentaban y discutían. Por ese motivo, durante bastante tiempo estuvo buscando al dibujante adecuado a esos fines, hasta que finalmente lo encontró en Basilius Weffringer y parece estar probado que el mismo Agricola participó activamente, junto al dibujante, en la preparación de esas xilografías. De todas maneras, los grabados finales fueron realizados en Basilea y en la tarea parecen haber participado también dos jóvenes artistas locales, Hans Rudolf Manuel y Zacharias Specklin y es interesante de mencionar que esos moldes de madera se utilizaron también en varias de las ediciones posteriores de la obra y sólo unos pocos, que estaban algo dañados, tuvieron que ser reconstruidos (Naumann 2006).

Los 292 grabados xilográficos pueden ser divididos en siete grupos, a saber: 1. Figuras geométricas y planos (23); 2. Instrumentos de medida y diversos aparatos (28); 3. Escenas de explotaciones mineras (32); 4. Construcción de minas y máquinas utilizadas (47); 5. Instalaciones de procesamiento (65); 6. Instalaciones mineras (71); 7. Recuperación de sal, obtención de vidrios (26) (Naumann 2006).

Analicemos a continuación el contenido de los doce libros que conforman la obra. En el Libro I se hace una defensa general de la importancia de la minería, de la actividad minera y del minero. Esto da un contexto interesante a la obra desde su inicio, ya que hasta ese entonces la minería solía estar en manos de expertos y artesanos que generalmente no estaban dispuestos a compartir sus conocimientos. Las experiencias de esta especie de *élite minera* se habían acumulado durante siglos y eran transmitidas oralmente. El libro II trata de la localización de minerales y el establecimiento de minas. Incluye interesantes referencias sobre plantas indicadoras específicas de ciertos minerales, así como los aspectos generales de la vegetación sobre los depósitos mineros. El libro III se refiere a la naturaleza de los minerales y a su posible origen. En el libro IV se analizan las metodologías utilizadas en las mensuras de los depósitos. El libro V trata de la forma de explotación de una mina, presentando diversas metodologías de trabajo, así como el arte de la clausura de los fondos de las minas. En el libro VI se presentan y discute la utilización de herramientas, aparatos y máquinas utilizadas en la explotación minera, incluyendo como aspecto importante la descripción de varios sistemas para mover y transportar agua, así como la ventilación de las minas. El libro VII trata del análisis de los minerales, presentando metodologías analíticas adecuadas para diferentes casos. El libro VIII analiza las diferentes metodologías para los trabajos de tostación, lavado, trituración y secado. El libro IX trata de todos los aspectos de la fundición, incluyendo los hornos a utilizar en diferentes casos y su construcción. El libro X analiza la purificación de metales nobles, incluyendo el refinado de Ag por copelación y la separación de Au y Ag, así como de estos dos metales del Pb. Estos procedimientos se extienden en el libro XI, a la separación de Cu y Ag por diversas metodologías. Finalmente, en el libro XII se describen procedimientos para la obtención de

sal, soda, salitre, alumbre, azufre, vitriolo, bitumen y vidrio (Craddock 1994; Naumann 2006).

Analizaremos a continuación algunos aspectos importantes e interesantes, tratados en los diferentes libros, un poco más detalladamente. La producción de sales como el salitre, alumbre, sal, vitriolo y soda, así como la de azufre y bitumen evidentemente están incluidas en la obra por tratarse de productos obtenidos en minas y esta sección del Libro XII es invaluable porque estos productos nunca habían sido discutidos en forma tan detallada anteriormente. Además, algunos de ellos constituían la materia prima para la elaboración de otros productos químicos, necesarios para algunos procesos metalúrgicos (Craddock 1994). En particular, la fabricación del ácido nítrico (el *aqua fortis* de los alquimistas), al que Agricola llama *aqua valens*, que se fabricaba por destilación de salitre con alumbre, $KAl(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$, o vitriolo, $FeSO_4$, y agua:



Por otra parte, Agricola justifica la inclusión de la fabricación de vidrios en este último libro debido a que los álcalis utilizados también eran productos mineros, aunque en realidad en esa época la mayor parte del álcali utilizado en la manufactura de vidrios provenía de cenizas de plantas (Craddock 1994).

En los Libros X y XI se dan descripciones muy completas sobre la obtención y purificación de Au y Ag, en presencia de diversos otros metales. Así, se analiza muy detalladamente la refinación de Ag por copelación y se dan instrucciones detalladas sobre la fabricación de las copelas a partir de diferentes materiales naturales, como huesos, maderas, astas, etc. En el caso de la separación de Au y Ag se analizan primeramente, y en forma muy detallada, los llamados procesos de cementación en estado sólido, que ya eran bien conocidos y utilizados en la época (Billinger 1929; Craddock 1994). El proceso consistía básicamente en una reacción en estado sólido en la cual se mezcla oro (impurificado por plata) finamente dividido, en forma de laminillas o gránulos, con sal común ($NaCl$) y arcilla en polvo (o polvo de ladrillos) en un crisol tapado. Esa mezcla se calienta por unas horas, a temperaturas por debajo de los 1000 °C y durante ese proceso la plata se transforma en $AgCl$, que luego puede ser removido, dejando al Au libre de Ag. En este proceso en lugar de $NaCl$ también puede utilizarse una mezcla de nitro (KNO_3) y vitriolo verde ($FeSO_4$). Asimismo, se describe la posibilidad de generar sulfuros en lugar de cloruros en el proceso de cementación. En este caso la mezcla que se calienta es el oro impuro con azufre. En este caso, las impurezas forman sulfuros metálicos y el oro no reacciona. Alternativamente, en lugar del azufre puede utilizarse estibnita (Sb_2S_3), y este material permite trabajar a temperaturas más elevadas que el azufre.

Agricola analiza también en detalle una tecnología más novedosa, como lo es la utilización de ácidos fuertes, para hacer separaciones en solución, utilizando especialmente el *aqua valens* (HNO_3) que disuelve la plata pero no el oro (Craddock 1994). Como es sabido, el oro se disuelve en *aqua regia* y esta puede ser una metodología final de purificación. En la época de Agricola el *aqua regia* se obtenía disolviendo *sal ammoniac* (NH_4Cl natural) con HNO_3 , obteniéndose una mezcla de HCl y HNO_3 (agua regia). En este caso, si había impurezas de Ag , las mismas volvían a precipitar como AgCl y el Au quedaba disuelto en la solución de donde podía ser recuperado por evaporación y calentamiento del residuo obtenido. De todas formas Agricola estima que los métodos de cementación en fase sólida resultan más adecuados y controlables que el trabajo en solución (Craddock 1994).

Los diversos aspectos de la fundición, incluyendo los hornos y fuelles necesarios para su funcionamiento se tratan en forma muy detallada y descriptiva en el Libro IX. Aquí se encuentra también la primera descripción de la utilización de carbón triturado en los hornos refractarios, como manera de disminuir su erosión por las escorias. Se describe una gran variedad de procesos de fusión y hornos adecuados para el procesamiento de un amplio rango de metales, incluyendo un muy curioso método para la condensación de mercurio (Craddock 1994). La descripción de hornos incluye hornos de fusión así como los llamados hornos bajos (Rennöfen) que se utilizaban principalmente en la metalurgia del hierro, así como hornos pequeños de laboratorio, utilizables con fines analíticos y hornos adecuados para la destilación, en la obtención de ácidos minerales. Asimismo, se describen algunos hornos de dimensiones muy grandes con la aparente idea de utilizarlos ya en procesos industriales complejos. En estos casos, Agricola da detalles muy precisos sobre la forma y tamaño de los ladrillos a usar en su construcción y asimismo, propone que algunos de estos hornos más grandes deberían ser móviles, para lo cual diseña también sistemas de grúa adecuados para su traslado y movimiento (Humberg 2009). Los sistemas de beneficio de minerales son tratados exhaustivamente en el Libro VIII, incluyendo los procesos de trituración y de tostación, con una excelente descripción de varias trituradoras y sistemas relacionados. Así, por ejemplo, en la Fig. 5 se muestra un molino triturador, descrito aquí por primera vez en forma muy detallada y precisa. para su traslado y movimiento (Humberg 2009). Los sistemas de beneficio de minerales son tratados exhaustivamente en el Libro VIII, incluyendo los procesos de trituración y de tostación, con una excelente descripción de varias trituradoras y sistemas relacionados. Así, por ejemplo, en la Fig. 5 se muestra un molino triturador, descrito aquí por primera vez en forma muy detallada y precisa.



Fig. 5. Molino triturador de minerales.

En el mismo Libro hay también una extensa sección dedicada al lavado de minerales y a la recuperación de oro por amalgamación con mercurio (Craddock 1994).

En el Libro VII se tratan detalladamente los métodos de análisis de minerales y metales. Si bien siempre se ha dicho que recién en el s. XVIII, y con la aparición de la balanza analítica, se inician los métodos cuantitativos de investigación, ya en el s. XVI había una rama del análisis que había alcanzado un grado de desarrollo notable y es lo que en esa época se llamaba el arte de los ensayos (Billinger 1929).

Ya desde comienzos del s. XVI fueron apareciendo en Alemania una serie de libritos anónimos bajo el título de *Probierebüchlein*, del tipo del analizado en la Secc. 3.2.3., y que contenían colecciones de metodologías y descripción de técnicas para ensayos químicos de diverso tipo de materiales. Agricola no solo terminó por reunir toda esa información sino que la amplió notablemente con datos y sugerencias obtenidas de su propia experiencia. Este Libro VII de su *De Re Metallica* se inicia con una explicación pormenorizada del material requerido para realizar estos ensayos, esto es, hornos, crisoles, fundentes, etc. Asimismo, hay una descripción detallada de los varios tipos de crisoles a utilizar en diferentes operaciones y la manera de construirlos. Luego se describen de manera detallada métodos para el ensayo de minerales de Au, Ag, Cu, Pb, Sn, Bi, Fe y Hg. Más adelante se describe el uso de la llamada técnica de la piedra de toque para determinar la composición aproximada de Au y Ag en una aleación. Este método consiste en comparar la ralladura que hace sobre una superficie de jaspá (o algún material pétreo similar) la

aleación desconocida con la ralladura hecha por agujas de composición conocida. Para esta operación Agricola menciona cuatro tipos de agujas testigo: Au/Ag, de Au/Cu, Au/Ag/Cu y Ag/Cu. Por otro lado, Agricola describe también tres tipos de balanza que utilizaba en estos ensayos y un sistema de pesas por él diseñado para su uso con esas balanzas (Billinger 1929).

Una de las secciones más importantes y valiosas se encuentra en el Libro VI y está relacionada con la descripción de varios sistemas para transportar y elevar agua, así como a la utilización del agua para mover molinos y máquinas de trituración. En ninguna otra publicación previa se alcanzó un tan elevado grado de meticulosidad en la descripción de estos sistemas, los que además están magníficamente ilustrados, como puede verse en los dos ejemplos presentados en la Fig. 6.

Muchas de estas bombas que se encontraban ampliamente distribuidas en diferentes regiones mineras de Alemania, y movidas por enormes ruedas de agua, estuvieron operativas durante más de tres siglos y pueden ser visitadas aún hoy en diferentes museos mineros, por ejemplo en Rammelsberg y en la Grube Samson en St. Andreasberg, en las montañas del Harz, o en Mansfeld, en los propios Montes Metalíferos (Craddock 1994).

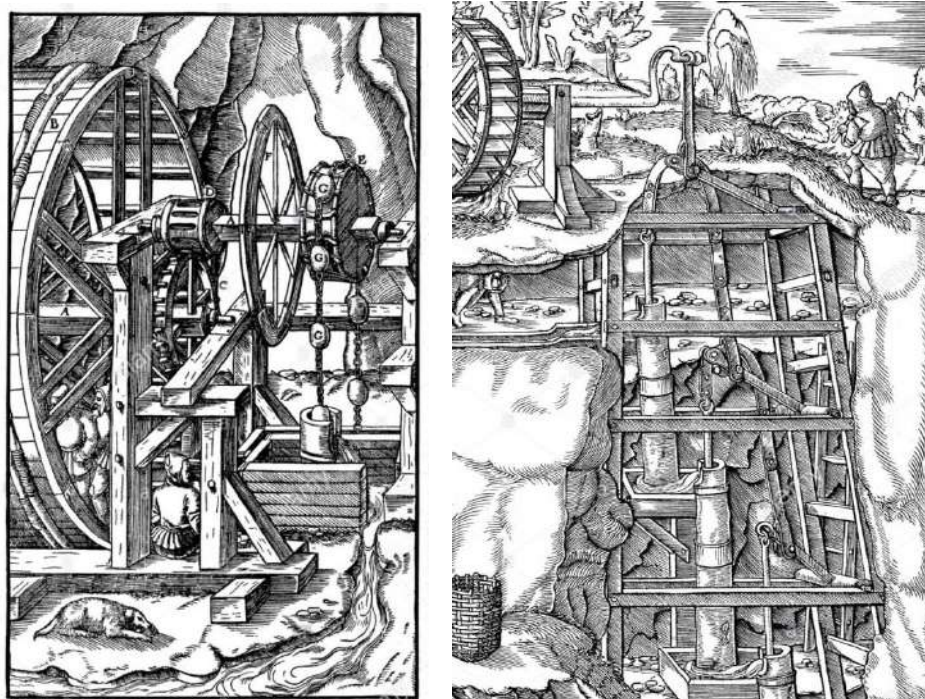


Fig. 6. Dos de los sistemas de bombeo de agua descritos e ilustrados en el Libro VI de *De Re Metallica*.

Uno de los aspectos más interesantes y valiosos, que incluso trascienden claramente hasta la actualidad, se mencionan en el Libro II, donde se indica que algunas plantas muestran la propiedad de acumular ciertos metales, lo

que genera diversos cambios en sus colores y formas de crecimiento, y sugiere la utilización de esta observación empírica, en la búsqueda y localización de determinadas vetas metalíferas (Craddock 1994; Farago 1994). Esta sugerencia constituye la base de lo que actualmente denominamos geobotánica y que luego se transformó en la llamada prospección biogeoquímica, la que incluye la aplicación de métodos analíticos a las plantas, para detectar o confirmar mineralización.

Las plantas responden claramente al entorno geológico en el cual se desarrollan y crecen y muestran variaciones características respecto a su forma, tamaño, color, velocidad de crecimiento y efectos tóxicos. La Geobotánica usa estas variaciones producidas por el entorno, en base al análisis visual de la vegetación reconociendo poblaciones de plantas específicas y la presencia o ausencia de ciertas variedades, asociadas a la presencia de determinados elementos (Farago 1994; Haldar 2013). La vegetación puede revelar la presencia de depósitos minerales de diversas maneras: a) comunidades anómalas de plantas indicadoras específicas de uno o más elementos; b) “vegetación fuera de contexto” que aparece entre especies que ocurren comúnmente en un área determinada; c) cambios en la abundancia relativa de ciertas especies características de una región; d) aspectos morfológicos inusuales; e) síntomas de desórdenes fisiológicos; f) niveles anormales de elementos detectados en el tejido vegetal por métodos analíticos (Cannon 1960; Farago 1994). Muchas de estas plantas indicadoras pertenecen, obviamente, al grupo de las que habitualmente se denominan hiperacumuladoras de metales (Brooks 1994; Callahan et al. 2006; Rascio y Navari-Izzo 2011; Baran 2021a,b). En las Figuras 7 y 8 se muestran tres ejemplos bien conocidos de este tipo de plantas indicadoras.



Fig. 7. *Pycandra acuminata* (antes llamada *Sebertia acuminata*) una planta que se desarrolla fuertemente en suelos ricos en níquel. Es una de las más importantes hiperacumuladoras conocidas de este elemento.



Fig. 8. *Aeollanthus myrianthus* (izq.) una planta que se desarrolla sobre suelos ricos en cobre; *Astragalus bisulcatus* (der.) una planta que crece en suelos ricos en selenio.

Ya hacia fines del siglo pasado algunos investigadores habían sugerido la utilización de fotografías aéreas y de imágenes satelitales para realizar este tipo de estudios de prospección biogeoquímica (Farago 1994). Y estas metodologías fueron ganando creciente aceptación y utilización en pocos años (Nagendra 2001; Xie et al 2008; Morgan et al. 2010).



Fig. 9. Monitoreo de vegetación utilizando un dron pequeño.

El sensado remoto utilizando aeroplanos o imágenes satelitales provee información sobre la distribución general de tipos de vegetación sobre grandes áreas, pero no permite obtener resolución espacial o temporal para la determinación de la distribución de especies individuales y esta situación ha logrado resolverse en gran medida mediante la utilización de drones (Fig.9),

y fundamentalmente de drones de tamaños pequeños (small unmanned aerial vehicles (micro-UAVs, drones)) (Cruzan et al. 2016; Tay et al. 2018).

4.1. Otras ediciones de la obra

Ya después de la primera edición en latín, editada como se dijo en 1556 en Basilea, al año siguiente apareció ya una primera edición en lengua alemana, que fue editada también por Froben en Basilea bajo el título “*Vom Bergwerck XII Bücher*”. El traductor fue un tal Philipp Bechi o Bechius (Jenny 1955; Naumann 2006). Esta primera edición alemana parece haber tenido escaso éxito probablemente porque la traducción carecía de dinamismo y hacia muy pesada la lectura (Naumann 2006). En 1561 Froben publicó una segunda edición en latín y dos años después una versión en italiano con el título “*Opera di Giorgio Agricola de l’arte de metalli partita in XII libri*”. El traductor de esta edición fue el monje florentino Michelangelo Floria (Jenny 1955).

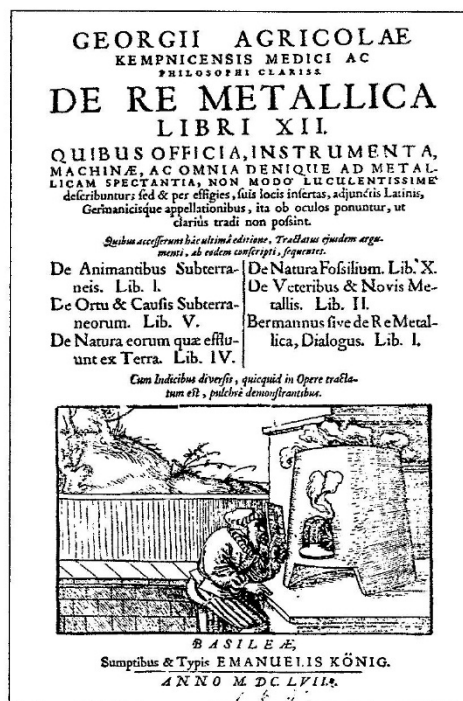


Fig. 10. Portada de la cuarta edición en latín (1657).

Dado que la edición alemana no alcanzaba a venderse bien, Froben pasó los volúmenes no vendidos al editor Sigmundt Feyerabendt de Frankfurt. Este cambió la portada original y comenzó a vender el libro alrededor de 1580 bajo el título “*Berckwerck Buch*” (Naumann 2006). A partir de 1621 el editor Ludwig König se hizo cargo de la sucesión de Froben en Basilea y editó una

nueva edición en alemán. A esta siguieron una tercera (1621) y cuarta (1657) edición en latín. Para ellas se siguieron utilizando mayoritariamente las xilografías originales que todavía se conservaban en muy buen estado después de 101 años de haber sido confeccionadas.

A la última edición en latín (1657) se agregaron también todos los otros trabajos geológico-mineralógicos de Agricola (como puede verse claramente en la portada de esa edición, Fig.10) lo que produjo un texto de 708 páginas y que dieron gran valor a esta recopilación completa de trabajos de Agricola y quedó como la primera y única edición completa de sus trabajos dedicados a la minería (Naumann 2006).

En 1569, Bernardo Pérez de Vargas publicó, en Madrid, una edición en español, sin las figuras del texto original. Esta traducción parece haber tenido una rápida difusión en todo el mundo hispano parlante, fundamentalmente porque no había mucha literatura técnica que pudiera aprovecharse en las explotaciones mineras del Nuevo Mundo (fundamentalmente en el Alto Perú y en México) y luego parece haber llevado a la publicación del “Arte de los Metales” de Alvaro Alonso Barba. También había indicios de que *De Re Metallica* o parte de ella, había sido traducida al chino en los años 1640/43. Aparentemente la obra llegó allí a través de un jesuita holandés y la traducción podría haber sido realizada por el jesuita alemán Johann Adam Schall von Bell. Lamentablemente, nunca se había podido encontrar ningún ejemplar de esa traducción, hasta que en 2015 se encontró una copia de esa versión china en la Biblioteca de Nanjing (Vogel 2018). En los siglos siguientes, y fundamentalmente en el s. XVIII, se reeditaron varias veces algunos libros de la obra, en diferentes lugares de Alemania. El s. XX comenzó con una traducción al polaco (1903) a la que siguieron bien pronto traducciones al húngaro, ruso, checo y japonés y algunas nuevas ediciones en alemán e italiano. Una mención muy especial y destacada merece la traducción al inglés realizada por el futuro presidente estadounidense Herbert C. Hoover y su esposa Lou Henry Hoover (Fig. 11).

Hoover había estudiado en la Universidad de Stanford, donde en 1895 se graduó como Ingeniero en Minas. La que luego fuera su esposa también estudió en la misma Universidad y se licenció en geología, siendo la primera mujer en graduarse en esa especialidad en Stanford, y también se dedicó posteriormente a estudios de filología clásica. Inicialmente, Hoover trabajó durante varios años para una importante compañía minera británica, lo que lo llevó por un tiempo a Australia y luego, ya casado, el matrimonio vivió varios años en China. Finalmente llegó a ser socio operativo de la empresa y el matrimonio viajó continuamente por el mundo y también comenzó a gestionar minas e industrias de capital estadounidense en diversos lugares, logrando amasar una importante fortuna personal.



Fig. 11. Herbert C. Hoover (1874-1964) y Lou Henry Hoover (1874-1944).

Después de la Primera Guerra Mundial, Hoover empezó a actuar crecientemente en política. Así, llegó a ocupar el cargo de Secretario de Comercio en la administración del presidente Warren G. Harding en el año 1921; cuando Harding falleció en 1923, fue sucedido por el vicepresidente Calvin Coolidge pero Hoover mantuvo su mismo puesto, alcanzando gran notoriedad por sus capacidades administrativas y de gestión pública. Esto causó que Hoover se hiciera bastante conocido entre los votantes y que sus capacidades administrativas fueran requeridas crecientemente en diversos temas y ámbitos gubernamentales. Su popularidad condujo al Partido Republicano a postularlo como candidato a las elecciones presidenciales de 1928, transformándose de esta manera en el 31° Presidente de los EEUU de NA y gobernando entre marzo de 1929 y marzo de 1933.

En uno de sus viajes por Europa durante 1903 compró en Italia una de las ediciones de *De Re Metallica* quedando fuertemente impresionado y fascinado por la misma. Y esta fascinación llevó al matrimonio a encarar una traducción moderna del mismo al idioma inglés. Para la impresión final de la obra se usó un papel de gran calidad lo que permitió una excelente reproducción gráfica de todas las figuras del original. El trabajo llevó unos cinco años y finalizó en 1912 en que se publicó una edición de 3000 ejemplares, financiada en forma privada por los traductores. De esta edición sólo se vendieron unos pocos ejemplares ya que la mayoría de ellos fueron regalados por Hoover a amigos, conocidos y colegas. En una Introducción se elogia a Agricola diciendo que “su estilo es excepcionalmente claro en comparación al de sus contemporáneos que escribieron sobre estos mismos temas y seguramente también que al de muchos de sus continuadores, en cualquier idioma, durante los siglos siguientes” (Naumann 2006). Una edición más reciente de esta traducción fue publicada en 1950 por Dover Publishers, en Nueva York.

La traducción inglesa se hizo en base al original latino, resultando especialmente complejo encontrar traducción inglesa moderna para muchos términos latinos. Por este motivo, los traductores decidieron incorporar al texto una infinidad de notas de pie de página, para hacer más comprensible el texto. Esta modalidad enriqueció notablemente su trabajo, ya que en muchos casos proporciona informaciones adicionales muy valiosas (Billinger 1929; Naumann 2006).

Durante casi todo el siglo XIX la obra había quedado prácticamente ignorada y nadie había pensado en encarar una traducción moderna, de tal forma el trabajo de los Hoover causó un fuerte impacto y abrió nuevos e inesperados caminos para su apreciación. Es más, en su Introducción Hoover manifiesta su asombro ante el hecho de que los propios conciudadanos de Agricola todavía no hubieran encarado una buena traducción al idioma alemán. A partir de este desafío, varios estudiosos y organizaciones alemanas decidieron dedicarse a esta tarea, cuya ejecución fue finalmente encomendada a la Sociedad de Ingenieros Alemanes quien asignó la organización del trabajo al Prof. Dr. Carl Schiffner, de Freiberg. El mismo conformó un grupo de trabajo con diversos expertos de Munich, Breslau, Magdeburgo y Freiberg. Finalmente en 1928 se editó en Berlin la moderna edición alemana con el título "*Zwölf Bücher vom Berg- und Hüttenwesen*". Para la reproducción de las figuras volvió a utilizarse la versión latina original de 1556. Posteriormente, en 1974, apareció una nueva edición alemana publicada en Dresde por el Museo Estatal de Mineralogía y Geología (Naumann 2006).

5. El "*Arte de los Metales*" de Álvaro Alonso Barba

Para finalizar este artículo parece especialmente interesante comentar brevemente una obra de características y enfoques similares a *De Re Metallica*, publicada en español y que tuvo un fuerte y perdurable impacto en la América Colonial. Se trata del "*Arte de los Metales*", escrito por el sacerdote andaluz Álvaro Alonso Barba (1569-1662) y publicado en Madrid, en 1640. La obra ha sido considerada siempre como la única obra de metalurgia realmente original de todo el s. XVII y una de las más importantes e influyentes en la historia de la ciencia (Calvo y Sevillano 1998). Aunque no existen claras evidencias al respecto, es muy probable que Barba haya conocido la traducción de Pérez de Vargas del texto de Agricola (Naumann 2006).

La obra está dividida en cinco libros (Calvo y Sevillano 1998) y en ellos no sólo se reseñan los procesos utilizados localmente para la extracción y fundición de metales, sino también las características de los hornos empleados y de todas las herramientas y sistemas auxiliares utilizadas en estos procesos. Asimismo, contiene una importante cantidad de información sobre el procesamiento de oro, plata, cobre, plomo, estaño y antimonio y muchas de sus aleaciones. Al poco tiempo de su aparición alcanzó una rápida

y amplia difusión no sólo en Europa sino también en Sud América y aún durante el siglo siguiente, tuvo dos ediciones más en español, y también fue traducida varias veces al inglés, alemán y francés. Con el correr del tiempo llegó a denominarse simplemente “*Código Minero*”, debido a la aceptación que había alcanzado y a su prolongada influencia en las actividades extractivas y metalúrgicas durante más de dos siglos. Fue gracias a los trabajos de Barba, que en el Alto Perú se logró implantar definitivamente el método desarrollado por él y conocido como *cazo y cocimiento* (amalgamación en caliente), y en los primeros años del siglo XVII había miles de hornillos en las laderas del Cerro de Potosí y zonas aledañas produciendo todos ellos, con muy pocos gastos, abundante cantidad de plata muy pura (Baran 2010 a,b).

6. Comentarios finales

La principal razón de la duradera importancia de “*De Re Metallica*” y de su permanencia está seguramente ligada a su contenido, a la exactitud y claridad de su mensaje, así como a la elaborada presentación de todos los detalles. Todas sus páginas muestran un conocimiento preciso y fundamentado, basado en largos estudios y en la directa experiencia personal de su autor. Estas cuestiones quedan también reflejadas en la enorme cantidad de xilografías, muchas veces de alto contenido artístico, que ilustran con claridad y precisión todo lo que la obra describe. Y como ya se mencionara, también estas figuras muestran claramente la intervención del autor en su preparación. Estas figuras, incluso, aportan muchas veces detalles importantes para la construcción de los aparatos o sistemas descriptos.

Por otra parte, Agricola fue claramente un hombre del Renacimiento, todas sus descripciones son claras y precisas, dejando de lado todo lo que no sea pertinente a sus argumentos. Por otro lado, y como lo dice explícitamente en su texto, sentía una fuerte necesidad de elaborar este vasto compendio porque no existían todavía estudios sistemáticos sobre la producción de metales, especialmente si se los comparaba con la vasta literatura elaborada por los alquimistas y muchos otros que se dedicaban a tratar de producir oro. Pocos habían escrito sobre la minería y la metalurgia anteriormente y nunca antes y aún mucho tiempo después, en ese estilo claro y mundano y con tantos detalles técnicos y todos ellos perfectamente ilustrados y detalladamente comentados. Esto convierte a “*De Re Metallica*” en un manual instructivo totalmente necesario y lo transforma también en una herramienta sumamente valiosa para la historia de la ciencia.

La lectura de la obra muestra claramente que estamos ante un nuevo enfoque de la mineralogía. Agricola logró aunar muchos de los conocimientos antiguos ya establecidos, con sus conocimientos prácticos, cimentándolos en lo posible con una base teórica seria y comprensiva, y tratando de lograr herramientas de aplicabilidad práctica. Y en todo su texto queda bien

remarcado, como en ninguna otra obra técnica anterior, que era lo que aún no se sabía y que era lo que había que preguntar, investigar y clarificar. Está claro que en los comienzos del s. XVI se comenzaron a abrir nuevos caminos en muchas de las Ciencias, pero también comenzó de alguna manera la especialización. Y “*De Re Metallica*” muestra también muy claramente que un minero o metalurgista debería poseer no sólo conocimientos de geología y minería, sino también del arte de la matemática, el dibujo y la construcción, así como de pesos y medidas y de técnicas analíticas, entre otras habilidades (Marx 1999).

En ese sentido también es valioso considerar el impacto que la obra tuvo para el desarrollo de las Ciencias Químicas. Generalmente se considera que los orígenes de la química moderna arrancan inicialmente del trabajo de los alquimistas así como de los primeros médicos renacentistas. Si bien en muchos de los escritos dejados por los alquimistas se mezclan charlatanerías y especulaciones ridículas con conceptos más serios, es evidente que ellos, muchas veces a partir de sus conocimientos empíricos, lograron avances interesantes en algunos campos y nos legaron algunos métodos básicos de trabajo, que luego fueron claramente aprovechados por la Química. Así, la destilación, la filtración, la sublimación, la digestión y la extracción, fueron procesos bien conocidos y utilizados profusamente por los alquimistas y algunas de sus herramientas de laboratorio, constituyen también la base de nuestro equipamiento de trabajo actual. Por otro lado, con el correr del tiempo habían logrado desarrollar métodos adecuados para preparar y purificar numerosos compuestos químicos de interés (alumbres, bórax, sal ammoniac, salitre, hidróxidos metálicos y ácidos (níttrico, sulfúrico, acético, *aqua regia*). Asimismo, la participación de la Medicina en el desarrollo de la Química, también es bastante evidente, ya que aún en épocas anteriores a Paracelso y más aún luego de Paracelso, se interesó fuertemente en la utilización de las más variadas formulaciones químicas naturales (tanto minerales como botánicas) para el tratamiento de enfermedades (Ihde 1956).

Pero lo que no siempre es claramente reconocido por todos los estudiosos de la Historia de la Química, es el impacto que tuvo la metalurgia y la minería en el inicio y desarrollo de esta Ciencia. Sin embargo, ya los antes mencionados Berg- y Probiere-Büchlein, generados a partir de la actividad minera, contienen una abundante cantidad de información química y lo mismo se daba, como también vimos, en los escritos sobre minerales de San Alberto Magno y en varios capítulos de la *Pirotechnia*. Y, finalmente en “*De Re Metallica*” todo el libro XII está básicamente dedicado al estudio de varias sales mientras que en otros libros también se habla de la utilización de ácidos, bases y sales fundentes y sus propiedades generales. Lo mismo puede decirse en el caso del “*Arte de los Metales*” y también deben mencionarse los trabajos de Lazarus Ercker (1528/30?-1594), sucesor inmediato de Agricola, y que trabajó en numerosos emprendimientos mineros de Europa Central, al servicio de al menos tres Emperadores, cuyo “*Probiere Buch*” de 1574, a veces

llamado también “*Aula Subterranea*”, y que tuvo numerosas re ediciones y traducciones a varios idiomas, contiene una gran información de metodologías químicas sobre todo en relación al análisis y caracterización de minerales, metales y sales, describiendo además con suma claridad numerosas técnicas y procedimientos analíticos (Armstrong y Lukens 1939; Marx 1999). Es decir todos estos libros, no son solamente tratados de metalurgia y minería sino que constituyen también obras de contenidos químicos importantes y valiosos.

La influencia de las artes mineralógicas sobre la Química se ve no sólo en todas las obras citadas, sino también en el hecho de que aún en los siglos siguientes muchos científicos compartían intereses mineralógicos y químicos. Un ejemplo importante lo encontramos en el nombre de Jöns Jacob Berzelius (1779-1848), uno de los padres de la Química moderna, y de muchos de sus discípulos, así como en otros químicos suecos tales como Georg Brandt (1694-1768), Torbern Olof Bergman (1735-1784), Carl Wilhelm Scheele (1742-1786) o Per Theodor Cleve (1840-1905), así como en los españoles Andrés Manuel del Río (1764-1849) o los hermanos Juan José (1754-1796) y Fausto (1755-1833) D’Elhuyar, el francés Louis Nicolás Vauquelin (1763-1829) o el alemán Martin Heinrich Klaproth (1743-1817). Como conclusión final de este breve análisis parece ser correcto afirmar que la metalurgia, conjuntamente con la alquimia y la medicina constituyen los tres pilares de las Ciencias Químicas modernas (Ihde 1956).

Referencias

- Agricola-Forschungszentrum Chemnitz (<http://www.georgius-agricola.de>).
- Alonso R (2019) Biringuccio y la Pirotechnia, “El Tribuno”, Salta, 29.12.2019.
- Armstrong EV, Lukens HS (1939) Lazarus Ercker and his “Probierbuch”. Sir John Pettus and his “Fleta Minor”. *Journal of Chemical Education*, 16:553-562.
- Baran EJ (2010a) Las ciencias exactas y naturales. En: En Torno a 1810, Publicación de las Academias Nacionales en Homenaje al Bicentenario de la Revolución de Mayo, Abeledo-Perrot, Buenos Aires (Argentina), pp.79-116.
- Baran EJ (2010b) Homenaje a algunos de los precursores de las ciencias en el Río de la Plata, en el año del bicentenario de la Revolución de Mayo. *Anales de la Academia Nacional de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales* 62:31-36.
- Baran EJ (2021a) Hiperacumulación de metales por plantas. *Anales de la Academia Nacional de Ciencias Exactas Físicas y Naturales* 72:76-113.
- Baran EJ (2021b) Comentarios sobre la hiperacumulación de metales por plantas. En: Baran EJ *Metaloenzimas de plantas (Serie Publicaciones Científicas N° 17)*, Academia Nacional de Ciencias Exactas Físicas y Naturales, pp. 145-158.
- Beckmann J (1783) *Beyträge zur Geschichte der Erfindungen*, Kummer, Leipzig (Alemania), pp. 133.
- Billinger RD (1929) Assaying with Agricola. *Journal of Chemical Education*. 6:349-354.
- Brooks RR (1994) Plants that hiperaccumulate heavy metals. En: Farago ME (ed.). *Plants and the chemical elements*, Verlag Chemie, Weinheim (Alemania), pp.87-105.
- Callahan DL, Baker AJM, Kolev SD, Wedd AG (2006) Metal ion ligands in hiperaccumulating plants. *Journal of Biological Inorganic Chemistry* 11:2-12.
- Calvo N, Sevillano E (1998) Alvaro Alonso Barba y “El Arte de Los Metales”. *Química e Industria*, 45:106-111.
- Cannon HL (1960) Botanical prospecting for ore deposits. *Science* 132:591-598.
- Craddock PT (1994) Agricola, *De Re Metallica*, a landmark in the history of metallurgy. *Endeavour*, 18:67-73.

- Cruzan MB, Weinstein BG, Grasty MR, Kohn BF, Hendrickson EC, Arredondo TM, Thompson PG (2016) Small unmanned aerial vehicles (micro-UAVs, drones) in plant ecology. *Applications in Plant Sciences* 4:1600041.
- Cudeiro V (2016) San Alberto Magno. En: Martínez-Puche JA (ed.) *El año dominicano. 800 años de santidad en la Orden de los Predicadores: santos, beatos, venerables y siervos de Dios*, Edibesa, Madrid (España), pp. 1230- 1241.
- Farago ME (1994) Plants as indicators of mineralization and pollution. En: Farago ME (ed.) *Plants and the chemical elements*, Verlag Chemie, Weinheim (Alemania), pp. 221-240.
- Haldar SK (2013) Mineral exploration. En: Haldar SK (ed.) *Mineral Exploration: Principles and applications*. Elsevier, Amsterdam (Países Bajos), pp.55-71.
- Humberg O (2009) Schmelzöfen bei Georgius Agricola, Andreas Libavius und Johann Daniel Mylius. 18. Agricola Gespräch (11.12.2009). Agricola- Forschungszentrum Chemnitz (<http://www.georgius-agricola.de>).
- Ihde AJ (1956) The pillars of modern chemistry. *Journal of Chemical Education* 33:107-110.
- Jenny BR (1955) Die Übersetzungen von Agricolas «De re metallica» als Beispiel für die Verbreitung wissenschaftlicher Texte in den Landessprachen des 16. Jh. *Ferrum* Nr.67, pp. 16-25.
- Marx G (1999) Chemie zur Zeit Agricolas. Vortrag vom 20.11.99, Agricola- Forschungszentrum Chemnitz (<http://www.georgius-agricola.de>).
- Mellein R (2016) Plinius der Ältere. En: Kindler Kompakt Klassiker der Naturwissenschaften, J.B. Metzler Vlg., Stuttgart (Alemania), pp. 45-46.
- Morgan JL, Gergel SE, Coops NC (2010) Aerial photography: A rapidly evolving tool for ecological management. *BioScience* 60:47-59.
- Nagendra H (2001) Using remote sensing to assess biodiversity. *International Journal of Remote Sensing* 22:2377-2400.
- Naumann F (2006) 450 Jahre “*De re metallica libri XII*” - das Hauptwerk Georgius Agricolas. Vortrag vom 25.03.06, Agricola-Forschungszentrum Chemnitz (<http://www.georgius-agricola.de>).
- Naumann F (2016) Vannuccio Biringuccio und Georg Agricola, Agricola- Forschungszentrum Chemnitz (<http://www.georgius-agricola.de>).
- Pförr H (1996) Start in das montanwissenschaftliche Zeitalter durch “Ein nützlich Bergbüchlein” des Freiburger Renaissancegelehrten Doktor Ulrich Rülein von Calw (1465-1523), Freiberg, Sachsen. *Berichte der Geologischen Bundesanstalt* 35:279-286.
- Ramos Maldonado SI (2013) La Naturalis Historia de Plinio el Viejo: lectura en clave humanística de un clásico. *Ágora. Estudos Clássicos em Debate*, 15: 51-94.
- Rascio N y Navari-Izzo F (2011) Heavy metal hyperaccumulating plants: How and why do they do it? And what makes them so interesting? *Plant Science*, 180:169-181.
- Schwendt GH (2011) Arsen. *Chemie in unserer Zeit*, 45:354-355.
- Störig HJ (1969) Kleine Weltgeschichte der Philosophie, Vol. 1, Fischer Bücherei, Frankfurt a/M (Alemania), pp. 254-255.
- Tay JYL, Erfmeier A, Kalwij JM (2018) Reaching new heights: can drones replace current methods to study plant population dynamics? *Plant Ecology* 219:1139-1150.
- Vogel HU (2018) Kungu gezhi oder die Geschichte der chinesischen Übersetzung von Georgius Agricola De Re Metallica Libri XII. 27.Agricola Gespräch (27.11.2018). Agricola-Forschungszentrum Chemnitz (<http://www.georgius-agricola.de>)
- Weeks ME (1932a) The discovery of the elements.I. Elements known to the Ancient World. *Journal of Chemical Education*, 9: 4-10.
- Weeks ME (1932b) The discovery of the elements.II. Elements known to the alchemists. *Journal of Chemical Education*, 9: 11-21.
- Weeks ME (1960) Discovery of the Elements, 6th. Edit., *Journal of Chemical Education*, Easton, Pa (U.S.A.).
- Xie Y, Sha Z, Yu M (2008) Remote sensing in vegetation mapping: A review. *Journal of Plant Ecology* 1:9-23.



AQUATIC INVASIVE SPECIES: THE ECONOMIC COST-BENEFIT BALANCE OF HUMAN-MADE INFRASTRUCTURE

Demetrio Boltovskoy^{1}, Radu C. Guia², Lyubov Burlakova³, Alexander Karatayev³, Martin A. Schlaepfer⁴, Nancy Correa⁵*

¹ IEGEBA, Instituto de Ecología, Genética y Evolución, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales - Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas, Universidad de Buenos Aires, Buenos Aires, Argentina. * Corresponding author: boltovskoy@gmail.com

² Biology Program, Glendon College, York University, 2275 Bayview Avenue, Toronto, Ontario M4N 3M6, Canada

³ Great Lakes Center, SUNY Buffalo State, 1300 Elmwood Ave. Buffalo, NY 14222, USA

⁴ Institute of Environmental Sciences, University of Geneva, Boulevard Carl-Vogt 66, CH-1205 Geneva, Switzerland

⁵ Servicio de Hidrografía Naval y Escuela de Ciencias del Mar, Sede Educativa Universitaria, Facultad de la Armada, UNDEF, Buenos Aires, Argentina

Keywords

Introduced species
Human-made
facilities
Canals
Spread
Impacts
Economy

Abstract Human-made facilities and major construction projects, like navigation canals and water-transfer canals and pipelines, can facilitate the spread of aquatic alien species, some of which may have negative impacts on the habitats invaded, and on the economy. However, the positive economic impacts of such facilities are usually much higher than their costs, and their ecosystem-service values are usually mixed, with both positive and negative ecological impacts being common.

Palabras clave

Especies
introducidas
Construcciones
humanas
Canales
Dispersión
Impactos
Economía

Resumen Especies acuáticas invasoras: los costos-beneficios de las obras de infraestructura humanas. Las construcciones humanas, como canales para navegación y transferencia de agua dulce, facilitan la distribución de especies introducidas, algunas de las cuales pueden tener impactos negativos importantes sobre los hábitats invadidos y sobre la economía. Sin embargo, en términos económicos los impactos positivos de estas obras son normalmente muy superiores a los negativos, y sus efectos ecológicos son generalmente mixtos, con resultados tanto negativos como positivos.

1. Introduction

From the dawn of humankind, in efforts to guarantee its subsistence our species has been reshaping the planet. Although all plants and animals modify their environment to suit their needs, because of humankind's spread and abilities, its interventions went far beyond those of other organisms. From the point of view of introduced or non-indigenous species (NIS; i.e., species that, aided by humans, colonize areas outside of the range where they emerged, rather than by their own means or the intervention of “natural” vectors, such as wind, currents, other non-human organisms, etc.), while most of them have little or no influence on the communities and habitats invaded, and many have at least some beneficial impacts (Boltovskoy et al. 2021), a few (probably 1 in 1000) of those that are transported become invasive pests thriving in the new habitats, monopolizing resources, and strongly affecting native communities and, often, human interests (Williamson and Brown 1986, Jeschke et al. 2012).

Aside from deliberate introductions (and, occasionally, their subsequent escapes or releases into the wild), among the most salient human activities that facilitate the transport of species from their native geographic ranges to otherwise inaccessible areas is the creation of pathways that facilitate their dispersal. These pathways include (but are not restricted to) (1) The accidental transport as “contaminants” associated with the trade of goods and travel, including the ballast water and hull fouling of freshwater, coastal and transoceanic vessels (Minchin and Gollasch 2003, Sayinli et al. 2022); and (2) The dispersal corridors created ad hoc in terrestrial systems to increase areal connectivity and favor the subsistence of native species, as well the incidental ones represented by road and railroad verges, tunnels (connecting mountain valleys) and bridges (between islands and mainlands) (Hulme et al. 2008, Haddad et al. 2014, Resasco et al. 2014, Phillips et al. 2020). For aquatic species, these dispersal corridors are chiefly represented by navigation canals and water-transfer infrastructure linking previously isolated watersheds (Galil et al. 2008, Zhan et al. 2015, Shumilova et al. 2018).

Although introduced species and their effects on the systems invaded have been the focus of much research during the last few decades (Hui and Richardson 2017, Vilà and Hulme 2017, Jeschke and Heger 2018), assessments of their impacts on the economy and human wellbeing are relatively scarce (Perrings et al. 2001, Pimentel 2011, Diagne et al. 2021). Further, many of the estimates produced have been heavily criticized for their unfounded assumptions and poorly supported figures (Davis 2009, Thompson 2014, Boltovskoy et al. 2022). In relation to biological invasions fostered by the above-mentioned pathways, a major - but usually ignored - issue is whether from the point of view of the economy and human wellbeing these human-made connections have brought about more harm than benefits.

In this short overview we offer a few examples of the impacts that some

of the human-made connections have on aquatic organisms worldwide, and the negative impacts and economic benefits brought about by such facilities and construction projects.

2. Major canals and water-transfer facilities

River improvement and construction of artificial waterways have been undertaken since the 23rd century BC, chiefly in Asia and northern Africa (Galil et al. 2008), and have been increasing worldwide due to the uneven distribution and rising scarcity of freshwater, as well as to facilitate regional and international water-borne trade (Fig. 1).

Worldwide, there currently are several thousand human-made canals, many of which are based on pre-existing river stretches. Among the busiest ones in terms of ship traffic are the Suez Canal, the Panama Canal, the Great Lakes-St. Lawrence region canals (Fig. 1), and several canals linking the

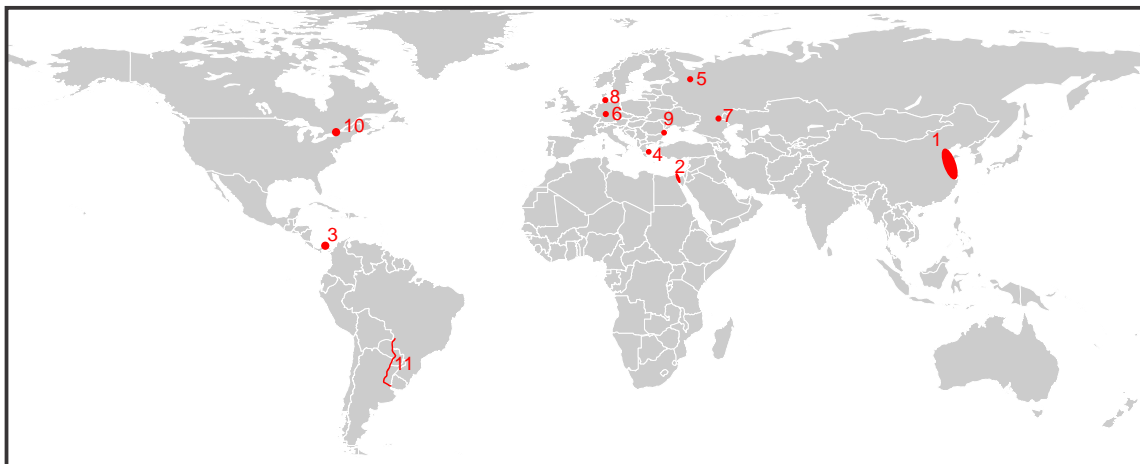


Fig. 1. Some major human-made navigation canals, waterbodies connected, and year of completion. 1: Beijing-Hangzhou Grand Canal (Yellow River-Yangtze River, 6th-7th centuries BC, currently part of the South-to-North Water Transfer Project); 2: Suez Canal (Mediterranean Sea-Red Sea, 1869); 3: Panama Canal (Atlantic Ocean-Pacific Ocean, 1914); 4: Corinth Canal (Ionian Sea-Aegean Sea, 1893); 5: White Sea-Baltic Sea Canal (White Sea-Baltic Sea, 1933); 6: Rhine-Main-Danube Canal (North Sea-Black Sea, 1976-1987); 7: Volga-Don Canal (Caspian Sea-Azov Sea, 1952); 8: Kiel Canal (North Sea-Baltic Sea, 1895); 9: Danube-Black Sea Canal (North Sea-Black Sea, 1984-1987); 10: Great Lakes-St. Lawrence System (North Atlantic-Great Lakes, 1854-1959); 11: Hidrovía Paraguay-Paraná (Pantanal, Brazil-Atlantic Ocean, 1999-present).

Caspian Sea, the Black Sea, the Mediterranean Sea, the Atlantic Ocean, the North Sea and the Baltic Sea (Figs, 2, 3).

Over 80 major water-transfer projects are presently completed or under construction (Zhan et al. 2015), and many more are in the planning stages, mostly for agricultural and hydropower purposes (Shumilova et al. 2018; see below). Although a few of these artificial constructions are restricted to a single watershed, most connect previously totally or partially isolated basins, thus

allowing the interchange of their flora and fauna. Some salient examples are listed below.

2.1. The Great Lakes-St. Lawrence region canals (USA-Canada)

The connection of the North Atlantic and the Great Lakes (Fig. 1) allowed the entry of 187 NIS in the latter (Sturtevant et al. 2019), including some with major economic impacts, like the sea lamprey (*Petromyzon marinus*) (Kitchell et al. 2015). Yet, these man-made connections have had an enormous positive impact on the economy of Canada and the USA, connecting 40 major Great Lakes ports with the North Atlantic. In 2017, the economic activity fostered by these connections was estimated at 116 thousand million US\$, and supported almost 800,000 jobs (Martin Associates 2018).

2.2. The Paraguay-Paraná rivers Hidrovía (South America)

In South America, dredging and other works gave rise to the 3,400 km-long Hidrovía Paraguay-Paraná (Fig. 1), a navigable waterway that connects Puerto Cáceres, in Brazil, with the Atlantic Ocean, through the Río de la Plata Estuary. Commercial navigation along this waterway facilitated the fast upstream dispersal of the invasive golden mussel *L. fortunei* (Boltovskoy et al. 2006), whose biofouling of human-made facilities (refineries, water-treatment and power plants, watercraft, etc. has major economic impacts (Boltovskoy et al. 2015, Rebelo et al. 2018). However, on the other hand, the Hidrovía waterway is used for transporting >100 million metric tons of goods annually, and has fostered and enhanced the regional and international trade of Argentina, Bolivia, Brazil and Paraguay immensely.

2.3. The South-to-North Water Transfer Project (China)

A similar case, also involving the golden mussel and other species (Qin et al. 2019), is China's South-to-North Water Transfer Project (Fig. 1). For aquatic NIS in general, this and many other human-made water diversion constructions throughout the world (Gollasch et al. 2006, Zhan et al. 2015, Shumilova et al. 2018) created artificial connections between previously isolated basins and facilitated the spread of many NIS. Although the South-to-North Water Transfer Project has been highly controversial since its inception (partly due to its cost of ~60 billion US\$), its net positive impacts on agricultural, forest, and urban systems, plus its overall eco-environmental benefits, have been forecasted to reach >840,000 billion US\$ by 2030 (the Kattel et al. 2019).

2.4. The Suez (Egypt) and the Panama Canals

Interbasin connections, like the Suez Canal (Fig. 1), allowed the entry of hundreds of organisms from the Red Sea to the Mediterranean (Galil et al. 2015). The Panama Canal (Figure 1) has had an impact on the homogenization of biotas on its Atlantic and Pacific sides (Castellanos-Galindo et al. 2020). Although most of these impacts are difficult to monetize, they have had environmental costs, but also benefits (Katsanevakis et al. 2014). Yet, on the other hand, these connections have also had an enormous positive economic impact on international trade, and provided major ecosystem services, such as reduced CO₂ and sulfur emissions due to shorter shipping routes (Castellanos-Galindo et al. 2020). In 2021, >2000 transits through the Panama Canal took place (<https://www.pancanal.com/eng/op/transit-stats/>, accessed 26 February 2022); for large bulk carriers, tankers and container-ships, the saving per ship range from ~230,000 to 1,000,000 US\$ (Zupanovic et al. 2019), and an overall reduction of CO₂ emissions of ~16 million tons due to shorter navigation routes (de Marucci 2012). The recent (March 2021) 6-day blockage of the Suez Canal by the Ever Given container ship is estimated to have costed 400 million US\$ per hour (<https://www.indiatimes.com/technology/news/suez-canal-container-ship-block-400-million-dollar-per-hour-worldwide-537096.html>; accessed 20 September 2021) and ~7000 t of excess CO₂ equivalent emissions by only 12 of the ships re-routed around Africa (<https://www.theecoexperts.co.uk/blog/how-much-co2e-the-suez-canal-blockage-caused>; accessed 27 February 2022).

2.5. The European canals

Inter-basin canals for navigation, crop irrigation, water supply, hydropower or drainage have been built throughout Europe since Roman times, and especially since the 18-19th centuries (Figs. 2, 3) (Gollasch et al. 2006, Karatayev et al. 2007, Ram and Palazzolo 2008, Leuven et al. 2009), greatly fostering national and international trade and the economic growth of the nations involved. However, they also facilitated the spread of many species, especially from the Ponto-Caspian basins to Western Europe and, occasionally, to the Americas (Leuven et al. 2009, Karatayev et al. 2015). The impacts of these invasive species, however, have been mostly mixed. In a thorough review of marine high-impact invaders in Europe (Katsanevakis et al. 2014) concluded that 17 had only negative and 7 only positive impacts; both negative and positive effects having been reported for the majority (62 species).

3. Alternatives?

The obvious argument is that such human interventions should take into account the potential NIS-related problems involved and anticipate the necessary solutions (Zhan et al. 2015, Castellanos-Galindo et al. 2020).

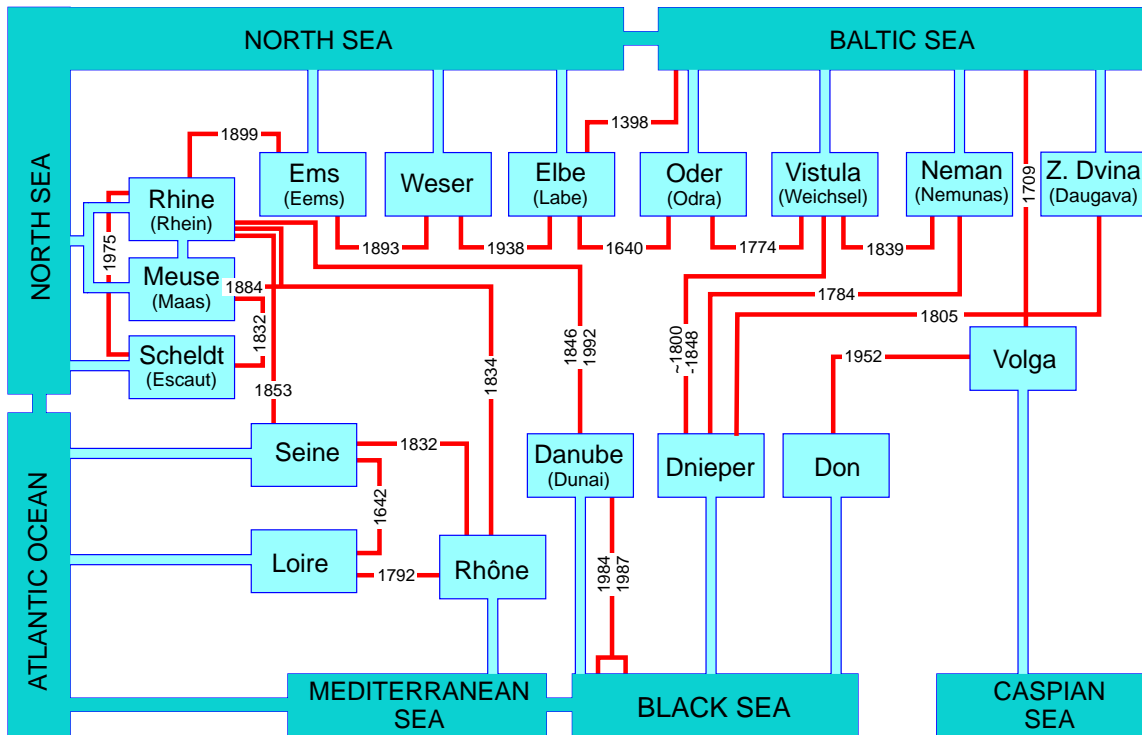


Fig. 2. Human-made connections, chiefly for navigation purposes (red lines), between major European rivers and with their natural discharge basins, and their years of completion, centered on the Rhine River (adapted from Leuven et al. 2009, with additional data from Karatayev et al. 2008).



Fig. 3. Geographic location of the major rivers shown in Fig. 2.

In the case of water-borne species introductions mitigating actions to cull the spread of introduced species are implemented, such as ballast water management regulations (Sayinli et al. 2022). Electric, sound, or air-bubble curtains have been explored as well, although their efficiency is contentious and they have important drawbacks (Gollasch et al. 2006). In some cases the presence of natural obstacles, like the low salinity Gatún Lake between the Atlantic and the Pacific sides of the Panama Canal, mitigate the interoceanic transfer of marine species significantly (Gollasch et al. 2006). The high salinity Bitter Lakes along the Suez Canal have also been an important barrier until their salinity started dropping after the damming of the Nile River (Gollasch et al. 2006). In others, however, salinity gradients are lower, like the network of canals connecting the seas around Europe and the Ponto-Caspian region (Figs. 2, 3) (Gollasch et al. 2006), or nil (the Hidrovía in South America, the Chinese South-to-North Water Transfer Project; Fig. 1). Methods for curtailing the spread of some baneful NIS in water transfer facilities have been proposed (Liu et al. 2017, Zhang et al. 2017, Liu et al. 2020), and they might mitigate the problem, but are unlikely to eliminate it.

4. Concluding remarks

As with most assessments of the impacts (ecological and economic) of invasive species, the overall outcome depends on the side of the coin one looks at. With the exception of human pathogens and parasites, and those of organisms valued by humankind for their contribution to the economy, or for many other reasons which are difficult to monetize (such as aesthetics, people's perceptions, socio-cultural contexts, traditions, practices, companionship, emotional support, sense of purpose, psychological health, etc.) (Hoffmann et al. 2019, Shackleton et al. 2019a), the effects of the invaders are almost

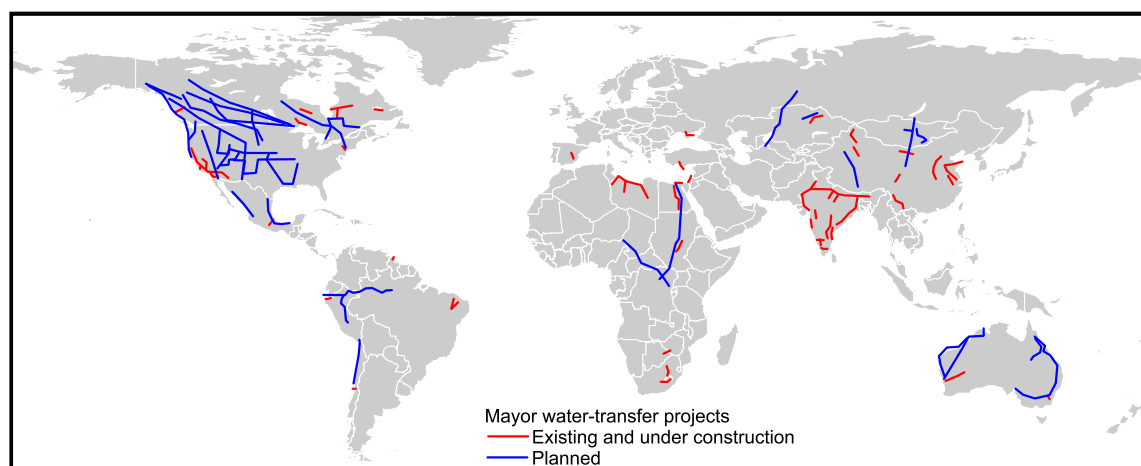


Fig. 4. Major existing, under construction, and planned water-transfer projects (adapted from Shumilova et al. 2018).

invariably multifaceted, highly context-dependent, and very rarely affect a single native species or process. Further, impacts of the same invader are neither static nor permanent, changing widely in time and space (Noordhuis et al. 2016, Strayer et al. 2017, Boltovskoy et al. 2021).

Assessing the impacts of introduced species cannot be based on their negative effects only (Vimercati et al. 2020, Boltovskoy et al. 2022). Aside from the fact that most have mixed impacts, their economic, social, or ecosystem-service assets are often very important (Jernelöv 2017, Shackleton et al. 2019b, Cassini 2020, Guzman-Novoa et al. 2020, Schlaepfer et al. 2020, Valentine et al. 2020, Goedkoop et al. 2021). Canals and water-transfer projects (Fig. 4) have been identified as major drivers of species invasions, loss of habitat, transfer of pollutants, salinization, soil erosion, and destruction of animal migration routes (Zhan et al. 2015, Shumilova et al. 2018). Their costs are staggering: the construction of 76 future large water-transfer projects will require a combined cost of around 2.7 trillion US\$ (Shumilova et al. 2018). Further, their selection as the best option for mitigating water shortage is often questionable as they involve multiple issues, including “...who are served and profit from the water transfer, the full costs - financial, environmental, social - and alternative resolutions such as demand reduction, reducing system losses and appropriate water use, particularly agricultural, in drylands” (Sternberg 2015). However, generally their positive effects on the economy and human wellbeing are huge, and such engineering interventions are often unavoidable unless economic growth and social integration are compromised.

Although many scholars in the area of biological invasions tend to focus their attention on the baneful effects of introduced species, and, following the legacy of Charles Elton's seminal work (Elton 1958), often advocate for their complete extirpation with the aim of reverting ecosystems to some ideal “pristine” state, in many - or even most - cases this goal is likely unrealistic (Hobbs et al. 2006, Tait and Larson 2018); but see also (Simberloff 2020). In the last decades a different approach has been suggested, based on the notion of “novel ecosystems”, defined as “a system of abiotic, biotic, and social components (and their interactions) that, by virtue of human influence, differ from those that prevailed historically, having a tendency to self-organize and manifest novel qualities without intensive human management” (Hobbs et al. 2013). Obviously, this concept does not negate the need to invest in viable actions to eradicate some clearly baneful invasives (and natives), or to pursue demonstrably successful policies aimed at culling new introductions, assuming that these introductions have obvious negative impacts overall. However, it does support the recognition of the fact that while these systems differ from those that prevailed historically, they are not necessarily worse or less desirable than the latter (Hobbs et al. 2006). Further, there are many examples where these invaders have been responsible for the amelioration of major ecosystems impacted by human activities (Goedkoop et al. 2021, Li et al. 2021), and helped the recovery of declining native species or replaced them

functionally (Bruestle et al. 2018, Vizentin-Bugoni et al. 2019, Lundgren et al. 2020).

The “novel ecosystems” outlook also involves viewing the role of alien species more pragmatically, and even considering some “new” species as desirable elements (Hui and Richardson 2017), or the unavoidable cost of major economic and human wellbeing gains.

References

- Boltovskoy D, Correa N, Burlakova LE, Karatayev AY, Thuesen EV, Sylvester F, Paolucci EM (2021) Traits and impacts of introduced species: a quantitative review of meta-analyses. *Hydrobiologia*, 848:2225-2258.
- Boltovskoy D, Correa N, Cataldo D, Sylvester F (2006) Dispersion and ecological impact of the invasive freshwater bivalve *Limnoperna fortunei* in the Río de la Plata watershed and beyond. *Biological Invasions*, 8:947-963.
- Boltovskoy D, Guiaşu R, Burlakova L, Karatayev A, Schlaepfer M, Correa N (2022) Misleading estimates of economic impacts of biological invasions: including the costs but not the benefits. *Ambio*, DOI: 10.1007/s13280-022-01707-1.
- Boltovskoy D, Xu M, Nakano D (2015) Impacts of *Limnoperna fortunei* on man-made structures and control strategies: general overview. In: Boltovskoy D (ed) *Limnoperna fortunei: the ecology, distribution and control of a swiftly spreading invasive fouling mussel*, Springer International Publishing, Cham (Switzerland), pp. 375-393.
- Bruestle E, Karboski C, Hussey A, Fisk A, Mehler K, Pennuto C, Gorsky D (2018) Novel trophic interaction between lake sturgeon (*Acipenser fulvescens*) and non-native species in an altered food web. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 76:6-14.
- Cassini MH (2020) A review of the critics of invasion biology. *Biological Reviews*, 95:1467-1478.
- Castellanos-Galindo GA, Robertson DR, Torchin ME (2020) A new wave of marine fish invasions through the Panama and Suez canals. *Nature Ecology & Evolution*, 4:1444-1446.
- Davis MA (2009) *Invasion biology*. Oxford University Press, New York (USA), pp. 1-244.
- de Marucci S (2012) The expansion of the Panama Canal and its impact on global CO₂ emissions from ships. *Maritime Policy & Management*, 39:603-620.
- Diagne C, Leroy B, Vaissière A-C, Gozlan RE, Roiz D, Jarić I, Salles J-M, Bradshaw CJA, Courchamp F (2021) High and rising economic costs of biological invasions worldwide. *Nature*, 592:571-576.
- Elton CS (1958) *The ecology of invasions by animals and plants*. Methuen, London (UK), pp. 1-196.
- Galil BS, Boero F, Campbell ML, Carlton JT, Cook E, Fraschetti S, Gollasch S, Hewitt CL, Jelmert A, Macpherson E, Marchini A, McKenzie C, Minchin D, Occhipinti-Ambrogi A, Ojaveer H, Olenin S, Piraino S, Ruiz GM (2015) 'Double trouble': the expansion of the Suez Canal and marine bioinvasions in the Mediterranean Sea. *Biological Invasions*, 17:973-976.
- Galil BS, Nehring S, Panov V (2008) Waterways as invasion highways – Impact of climate change and globalization. In: Nentwig W (ed) *Biological Invasions*, Springer, Berlin (Germany), pp. 59-74.
- Goedkoop W, Choudhury MI, Lau DCP, Grandin U (2021) Inverting nutrient fluxes across the land-water interface – Exploring the potential of zebra mussel (*Dreissena polymorpha*) farming. *Journal of Environmental Management*, 281:111889.
- Gollasch S, Galil BS, Cohen AN (eds) (2006) *Bridging divides: Maritime canals as invasion corridors*. Springer, Dordrecht (The Netherlands), pp. 1-315.
- Guzman-Novoa E, Morfin N, De la Mora A, Macías-Macías JO, Tapia-González JM, Contreras-Escareño F, Medina-Flores CA, Correa-Benítez A, Quezada-Euán JJG (2020) The process and outcome of the africanization of honey bees in Mexico: Lessons and future directions. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 8:608091.
- Haddad NM, Brudvig LA, Damschen EI, Evans DM, Johnson BL, Levey DJ, Orrock JL, Resasco J, Sullivan LL, Tewksbury JJ, Wagner SA, Weldon AJ (2014) Potential negative ecological effects of corridors. *Conservation Biology*, 28:1178-1187.
- Hobbs RJ, Arico S, Aronson J, Baron JS, Bridgewater P, Cramer VA, Epstein PR, Ewel JJ, Klink CA, Lugo AE, Norton D, Ojima D, Richardson DM, Sanderson EW, Valladares F, Vilà M, Zamora R, Zobel M (2006) Novel ecosystems: theoretical and management aspects of the new ecological world order. *Global Ecology and Biogeography*, 15:1-7.

- Hobbs RJ, Higgs ES, Hall CM (2013) Defining Novel Ecosystems. In: Hobbs RJ, Higgs ES, Hall CM (eds) Novel Ecosystems: Intervening in the New Ecological World Order, Wiley, Chichester (UK), pp. 58-60.
- Hoffmann R, Lagerkvist C-J, Gustavsson MH, Holst BS (2019) Economic perspective on the value of cats and dogs. *Society & Animals*, 27:595-613.
- Hui C, Richardson DM (2017) Invasion dynamics. Oxford University Press, Oxford (UK), pp. 1-322.
- Hulme PE, Bacher S, Kenis M, Klotz S, Kühn I, Minchin D, Nentwig W, Olenin S, Panov V, Pergl J, Pyšek P, Roques A, Sol D, Solarz W, Vilà M (2008) Grasping at the routes of biological invasions: a framework for integrating pathways into policy. *Journal of Applied Ecology*, 45:403-414.
- Jernelöv A (2017) The long-term fate of invasive species. Aliens forever or integrated immigrants with time? Springer, Cham (Switzerland), pp. 1-296.
- Jeschke J, Gómez Aparicio L, Haider S, Heger T, Lortie C, Pyšek P, Strayer D (2012) Support for major hypotheses in invasion biology is uneven and declining. *NeoBiota*, 14:1-20.
- Jeschke JM, Heger T (eds) (2018) Invasion Biology. Hypotheses and evidence. CABI, Wallingford (UK), pp. 1-177.
- Karatayev AY, Burlakova LE, Mastitsky SE, Padilla DK (2015) Predicting the spread of aquatic invaders: insight from 200 years of invasion by zebra mussels. *Ecological Applications*, 25:430-440.
- Karatayev AY, Mastitsky SE, Burlakova LE, Olenin S (2008) Past, current, and future of the central European corridor for aquatic invasions in Belarus. *Biological Invasions*, 10:215-232.
- Katsanevakis S, Wallentinus I, Zenetos A, Leppäkoski E, Çinar ME, Oztürk B, Grabowski M, Golani D, Cardoso AC (2014) Impacts of invasive alien marine species on ecosystem services and biodiversity: a pan-European review. *Aquatic Invasions*, 9:391-423.
- Kattel GR, Shang W, Wang Z, Langford J (2019) China's South-to-North Water Diversion Project empowers sustainable water resources system in the north. *Sustainability*, 11:3735.
- Kitchell JF, Cline T, Bennington V, McKinley GA (2015) Climate change challenges in the management of invasive sea lamprey in Lake Superior. In: Keller RP, Cadotte MW, Sandiford G (eds) Invasive species in a globalized world. Ecological, social, and legal perspectives on policy, The University of Chicago Press, Chicago (USA), pp. 209-232.
- Leuven RSEW, van der Velde G, Baijens I, Snijders J, Van der Zwart C, Lenders HR, bij de Vaate A (2009) The river Rhine: a global highway for dispersal of aquatic invasive species. *Biological Invasions*, 11:1989-2008.
- Li J, Ianaiev V, A. H, Zalusky J, Ozersky T, Katsev S (2021) Benthic invaders control the phosphorus cycle in the world's largest freshwater ecosystem. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 118:e2008223118.
- Liu W, Xu M, Wang Z, Yu D, Zhou X (2017) Experimental study of attachment of golden mussel larvae. *Acta Oecologica Sinica*, 37:2780-2787.
- Liu W, Xu M, Zhang J, Zhang T (2020) Survival and attachment of biofouling freshwater mussel (*Limnoperna fortunei*) to environmental conditions: potential implications in its invasion, infection and biofouling control. *Limnology*, 21:245-255.
- Lundgren EJ, Ramp D, Rowan J, Middleton O, Schowaneck SD, Sanisidro O, Carroll SP, Davis M, Sandom CJ, Svenning J-C, Wallach AD (2020) Introduced herbivores restore Late Pleistocene ecological functions. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 117:7871.
- Martin Associates (2018) Economic impacts of maritime shipping in the Great Lakes - St. Lawrence region. Lancaster (USA), pp. 1-21.
- Minchin D, Gollasch S (2003) Fouling and ships' hulls: how changing circumstances and spawning events may result in the spread of exotic species. *Biofouling*, 19 Suppl:111-122.
- Noordhuis R, van Zuidam BG, Peeters ETHM, van Geestet GJ (2016) Further improvements in water quality of the Dutch border lakes: two types of clear states at different nutrient levels. *Aquatic Ecology*, 50:521-539.
- Perrings C, Williamson M, Dalmazzone S (eds) (2001) The economics of biological invasions. Edward Elgar, Northampton (USA), pp. 1-248.
- Phillips BB, Wallace C, Roberts BR, Whitehouse AT, Gaston KJ, Bullock JM, Dicks LV, Osborne JL (2020) Enhancing road verges to aid pollinator conservation: A review. *Biological Conservation*, 250:108687.
- Pimentel D (ed) (2011) Biological invasions. Economic and environmental costs of alien plant, animal, and microbe species (Second edition). CRC Press, Boca Raton (USA), pp. 1-449.
- Qin J, Cheng F, Zhang L, Schmidt BV, Liu J, Xie S (2019) Invasions of two estuarine gobiid species interactively induced from water diversion and saltwater intrusion. *Management of Biological Invasions*, 10:139-150.
- Ram JL, Palazzolo SM (2008) Globalization of an aquatic pest: Economic costs, ecological outcomes, and positive applications of Zebra Mussel invasions and expansions. *Geography Compass*,

2/6:1755–1776.

- Rebello MF, Afonso LF, Americo JA, da Silva L, Neto JLB, Dondero F, Crisanti A, Zhang Q (2018) A sustainable synthetic biology approach for the control of the invasive golden mussel (*Limnoperna fortunei*). PeerJ, DOI: 10.7287/peerj.preprints.27164v1.
- Resasco J, Haddad NM, Orrock JL, Shoemaker D, Brudvig LA, Damschen EI, Tewksbury JJ, Levey DJ (2014) Landscape corridors can increase invasion by an exotic species and reduce diversity of native species. Ecology, 95:2033-2039.
- Sayinli B, Dong Y, Park Y, Bhatnagar A, Sillanpää M (2022) Recent progress and challenges facing ballast water treatment – A review. Chemosphere, 291:132776.
- Schlaepfer MA, Guinaudeau BP, Martin P, Wyler N (2020) Quantifying the contributions of native and non-native trees to a city's biodiversity and ecosystem services. Urban Forestry & Urban Greening, 56:126861.
- Shackleton RT, Richardson DM, Shackleton CM, Bennett B, Crowley SL, Dehnen-Schmutz K, Estévez RA, Fischer A, Kueffer C, Kull CA, Marchante E, Novoa A, Potgieter LJ, Vaas J, Vaz AS, Larson BMH (2019a) Explaining people's perceptions of invasive alien species: A conceptual framework. Journal of Environmental Management, 229:10-26.
- Shackleton RT, Shackleton CM, Kull CA (2019b) The role of invasive alien species in shaping local livelihoods and human well-being: A review. Journal of Environmental Management, 229:145-157.
- Shumilova O, Tockner K, Thieme M, Koska A, Zarfl C (2018) Global Water Transfer Megaprojects: A potential solution for the water-food-energy nexus? Frontiers in Environmental Science, 6:150.
- Simberloff D (2020) Maintenance management and eradication of established aquatic invaders. Hydrobiologia, 848:2399-2420.
- Sternberg T (2015) Water megaprojects in deserts and drylands. International Journal of Water Resources Development, 32:301–320.
- Strayer DL, D'Antonio CM, Essl F, Fowler MS, Geist J, Hilt S, Jarić I, Jöhnk K, Jones CG, Lambin X, Latzka AW, Pergl J, Pyšek P, Robertson P, von Schmalensee M, Stefansson RA, Wright J, Jeschke JM (2017) Boom-bust dynamics in biological invasions: towards an improved application of the concept. Ecology Letters, 20:1337-1350.
- Sturtevant RA, Mason DM, Rutherford ES, Elgin A, Lower E, Martinez F (2019) Recent history of nonindigenous species in the Laurentian Great Lakes; An update to Mills et al., 1993 (25 years later). Journal of Great Lakes Research, 45:1011-1035.
- Tait M, Larson BMH (2018) Entropy and the conceit of biodiversity management. Global Ecology and Biogeography, 27:642-646.
- Thompson K (2014) Where do camels belong? Why invasive species aren't all bad. Profile Books, London (UK), pp. 1-262.
- Valentine LE, Ramalho CE, Mata L, Craig MD, Kennedy PL, Hobbs RJ (2020) Novel resources: opportunities for and risks to species conservation. Frontiers in Ecology and the Environment, 18:558-566.
- Vilà M, Hulme PH (eds) (2017) Impact of biological invasions on ecosystem services. Springer, Cham (Switzerland), pp. 1-354.
- Vimercati G, Kumschick S, Probert AF, Volery L, Bacher S (2020) The importance of assessing positive and beneficial impacts of alien species. NeoBiota, 62:525-545.
- Vizentin-Bugoni J, Tarwater CE, Foster JT, Drake DR, Gleditsch JM, Hruska AM, Kelley JP, Sperry JH (2019) Structure, spatial dynamics, and stability of novel seed dispersal mutualistic networks in Hawai'i. Science, 364:78-82.
- Williamson M, Brown KC (1986) The analysis and modelling of British invasions. Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences, 314:505-522.
- Zhan A, Zhang L, Xia Z, Ni P, Xiong W, Chen Y, Haffner DG, MacIsaac HJ (2015) Water diversions facilitate spread of non-native species. Biological Invasions, 17:3073-3080.
- Zhang C, Xu M, Wang Z, Liu W, Yu D (2017) Experimental study on the effect of turbulence in pipelines on the mortality of *Limnoperna fortunei* veligers. Ecological Engineering, 109:101-118.
- Zupanovic D, Grbic L, Baric M (2019) The Impact of the New Panama Canal on cost-savings in the shipping industry. TransNav - The International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation, 13:537-541.



NOVEL MATHEMATICAL AND COMPUTATIONAL METHODS FOR SCIENCE AND ENGINEERING

Oscar P. Bruno

Computing and Mathematical Sciences, California Institute of Technology,
Pasadena, USA
E-mail: obruno@caltech.edu

Keywords

Computational
science
Numerical analysis
Numerical methods
Partial differential
equations
Fast methods
High-order
methods

Palabras clave

Ciencia
computacional
Análisis numérico
Métodos numéricos
Ecuaciones en
derivadas parciales
Métodos rápidos
Métodos de alto
orden

Abstract These notes present a conceptual narrative concerning a new class of highly accurate and efficient methods for the numerical solution of partial differential equations. This contribution, which is not offered as a text for specialists, has as its main objective to convey, to a presumptive audience with diverse scientific and technological interests, the character of these new methodologies, as well as their potential for effective computational simulation in vast areas of science and engineering.

Resumen Nuevos métodos matemáticos y computacionales para las ciencias y la ingeniería. Estas notas presentan una descripción conceptual de una nueva clase de métodos altamente precisos y eficientes para la solución numérica de ecuaciones en derivadas parciales. Este aporte, que no se presenta como un texto para especialistas, tiene como principal objetivo transmitir, a una presunta audiencia con diversos intereses científicos y tecnológicos, el carácter de estas nuevas metodologías, así como su potencial para la simulación computacional efectiva en vastas áreas de ciencia e ingeniería.

1. Introduction

In spite of enormous progress in many areas of mathematics, numerical analysis, computational science and computer hardware, the efficient and reliable computational simulation of physical phenomena has continued to pose significant challenges in many scientific and technological contexts. In recent years, novel “fast”, “high-order” and “spectral” techniques have emerged which can effectively tackle highly complex natural and engineered structures. The purpose of these notes is to present a conceptual narrative concerning these new computational methods. In this spirit, and to facilitate a descriptive presentation, bibliographical citations are avoided in this text—with the

expectation that the nomenclature used should easily enable an interested reader to access full references without difficulty.

As a specific motivating example, which will facilitate the introduction of a number of key concepts, we first consider the important problem of propagation and scattering of electromagnetic waves. This is a problem of significant impact on a wide range of areas of science and engineering, including optics, remote sensing, photonics, electronics, communications, etc. Numerical methods based on finite-element (FEM) and finite-difference (FD) approximations for such problems are accurate and capable of fine spatial resolution. These methods do require use of fine volumetric discretizations, however, not only in specific regions near boundaries, to adequately model complex engineered structures, but also *throughout the computational domain* to counter their inherent numerical dispersion and diffusion errors (described below). For problems with general temporal dependence, further, these fine spatial discretizations require use of small time-steps to ensure stability in the time evolution. As a result, electromagnetic simulations of large (and possibly complex) structures by means of volumetric discretizations require vast amounts of computing time and memory and have remained impractical. Fortunately, novel techniques have recently emerged that have significantly expanded the applicability of numerical methods to configurations previously not considered tractable within any reasonable accuracy.

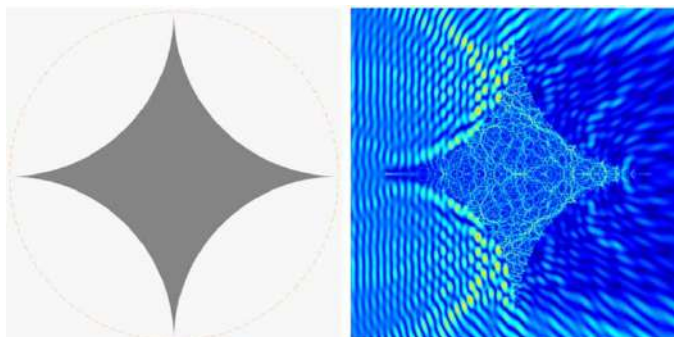


Fig. 1. The left image presents a notional structure made of a material that is penetrable to electromagnetic radiation such as e.g., visible light. The structure is 80 wavelengths at its widest; at wavelengths of the order of $1\ \mu\text{m}$, the structure is approximately $80\ \mu\text{m}$ in size. Structures of such sizes, and even smaller, are designed, engineered, and manufactured, with features of the order of a single wavelength in some cases, to deliver a particular effect within a photonic structure on a photonic chip. The simulation, produced by this author in collaboration with A. Pandey, was obtained by means of a Chebyshev discretization of the relevant Helmholtz equation in conjunction with a Green-function formulation.

To motivate our description, we consider the simple notional example depicted in Fig. 1. The image on the left presents a material structure made of a “penetrable” material—in this case, a material, such as e.g., silicon or glass, that is at least partially transparent to electromagnetic illumination at certain frequencies. As light impinges on the object, part of it reflects directly, as from glass or water, and, as in such cases, part of the light penetrates the

material. For the type of material considered in the figure, the propagation wavelength in the material is smaller than that in the ambient free space: as can be appreciated in the figure, the interior waves oscillate spatially on a finer scale than those in the exterior.

The illuminating radiation, incident from the left in the present example, thus impinges upon the obstacle, and gives rise to a highly complex pattern of reflected and transmitted waves, wherein transmitted waves travel within the material and then themselves impinge upon other material boundaries, giving rise to multiple scattering, each time including reflection and transmission, etc., in accordance with Maxwell's equations.

In classical FD and FEM numerical methods, the continuum differential equations governing a particular physical problem, such as the Maxwell equations in our present illumination example, are discretized via approximation of derivatives by means of FD or FEM approximations. Thus, in the case illustrated in the figure, a fine volumetric discretization would need to be utilized—at the very least, of the order of a few points per wavelength, since, clearly, it would be impossible to resolve the details in the electromagnetic field with discretizations that contain one or fewer points per wavelength. And, if the details of fields are not resolved at the level of the wavelength, then the accuracy of the solution overall is compromised, potentially resulting in completely incorrect predictions.

The use of a fixed number of points per wavelength is therefore manifestly necessary, but unfortunately it is generally not sufficient to maintain a prescribed accuracy in general solutions of the Maxwell equations. To demonstrate this, we consider an experiment in which a fixed number of points per wavelength are used for the solution of problems for smaller and smaller wavelengths, with a fixed overall geometry—such as, say, the one depicted in Fig. 1. At a fixed number of points per wavelength, the error in approximation of continuous derivatives by discrete derivatives remains constant, but the number of times such approximations are used grows as the wavelength decreases and the number of wavelengths spanned by the domain grows. This leads to so-called “dispersion” errors that grow without bound as the number of wavelengths spanned by the domain grows. Equivalently, to maintain a certain accuracy, the number of points used *per wavelength* must be increased.

The precise selection of numbers of points per wavelength that are necessary to maintain accuracy depend on the *order of accuracy* inherent in the finite-difference or finite-element used for the approximation of spatial derivatives. Algorithms of higher orders of accuracy give rise to slower growth in the number of discretization points necessary to maintain accuracy as the size of the problem grows. But such slower growth is accompanied by other challenges, such as potential losses in stability and requirement of reduced

time steps in time-dependent problems, as well as difficulties concerning enforcement of boundary conditions, and, especially for large three-dimensional problems, computational cost. Still, high order finite-difference and finite-element methods can be successfully implemented, and they remain powerful, widely used numerical techniques for the types of problems under consideration.

2. Novel Numerical Methods

Various alternatives to FEM and FD discretization approaches, which avoid some of the drawbacks mentioned above, are discussed in what follows. These methods rely on use of representations of solutions in terms of explicit functions over large regions in the physical simulation domain. In the context of electromagnetic scattering problems, for example, we mention methods which represent the electromagnetic fields in terms of the electrical currents that exist at the interfaces between materials: as discussed in Section 4, field values can be produced from the surface currents, as linear combinations of a number of explicit functions, each one of which provides a contribution to the physical field over the complete simulation domain. (Or, equivalently, but using a different terminology: field values can be evaluated everywhere in space by means of surface integrals with integrands given by products of electrical currents and Green functions.) For problems in fluid-dynamics, in turn, spectral representations based on Fourier series or Chebyshev expansions might be used where, once again, linear combinations of explicit functions are used to represent solutions either through the complete simulation domain, or at least over large regions thereof. Although they effectively resolve the difficulties associated with the dispersion errors mentioned in the previous section, these methods themselves present certain practical challenges, as described briefly in what follows, and with more detail in Sections 3 and 4.

Methods based on use of Green functions for Maxwell's equations, for example, rely heavily on evaluation of certain "surface reflections"—thus accounting for the way into which every elementary element of surface reflects light upon every other element of surface. For a total of, say N relevant surface elements, a total of N^2 interactions need to be accounted for—which leads to a computational cost that is generally unacceptably high, except for sufficiently small and simple simulation contexts. Additionally, these methods depend upon accurate representation of interface boundaries as well as evaluation of challenging operators involving Green functions—which require numerical calculation of large numbers of integrals over the interface surfaces, each one of which contains an unbounded integrand.

Some of these difficulties also arise in the context of spectral methods: here a total of N functions must be evaluated and combined at a number of

the order of N points, at a cost that, once again, could generally unacceptably high: of the order of N^2 operations. Spectral methods present a number of additional challenges—since, e.g., Fourier series and Chebyshev expansions are natively designed to be applicable in separable domains such as Cartesian boxes or spherical shells or deformation thereof via suitable mappings, and since the first ones require a stringent assumption of periodicity, while the second ones give rise to extremely fine discretizations near boundaries, and thus, for problems with general time dependence, require use of extremely small time-steps for numerical stability.

Novel trends in the field of numerical analysis and computational science have sought to negotiate these challenges with the goal of reaping the benefits of explicit-function numerical representations in terms of Green functions, Fourier, and Chebyshev expansions, etc., but with applicability to realistic, spatio-temporally challenging, scientific, and engineering configurations. In the following two sections we discuss recent progress in this regard, drawing in part from recent work by the author and collaborators on Green-function and spectral methods, and with reference to other related methods and techniques.

3. Spectral Methods in General Domains and the FC method

In the context of spectral methods, the Fast Fourier Transform (FFT) provides a central guiding light, albeit not the complete answer to all the ailments arising from the use of spectral methods. By exploiting a certain algebra-manipulation trickery applicable to certain set of spectral methods, including Fourier- and Chebyshev-based methods, the FFT lends a capability of evaluating the combined effect of all N functions at all N discretization points at a cost of the order of merely $N \log N$ operations—significantly smaller than the cost, of the order of N^2 operations, required for evaluation of each one of the N functions at each one of the N points. The acceleration provided by the FFT algorithm makes it feasible to apply the highly accurate and dispersionless spectral methods to important large scale scientific and engineering configurations.

Simulations based on classical Fourier spectral methods are restricted to periodic problems on a rectangular domains, since, for non-periodic functions, Fourier series incur the Gibbs phenomenon—a crippling approximation error that manifests itself in the form of wild oscillations in tight intervals around the discontinuity points. Chebyshev-based methods are more geometrically friendly. They do not require the stringent periodicity conditions inherent in Fourier spectral methods and, as a result, they can be applied over multiple subdomains, each mapped to a square, leading to possible applicability to relatively complex geometrical structures. The Chebyshev methods are extraordinarily accurate, and they can deliver

excellent engineering accuracies on the basis of very sparse meshes. They derive these qualities from certain graded spatial meshes which cluster discretization points near the boundaries of the (cubic or square) simulation domains. Chebyshev methods can therefore be used as excellent approximation elements for problems independent of time, at a cost comparable to that required by FEM or FDM approaches. The situation is more challenging for time domain problems—which, in view of the fine spatial spacing between certain discretization points, leads to a requirement of an extremely fine time discretization mesh, for stability, on account of the CFL stability constraint (Courant-Friedrichs-Lewy) or, as an alternative, use of (expensive) implicit time-stepping algorithms.

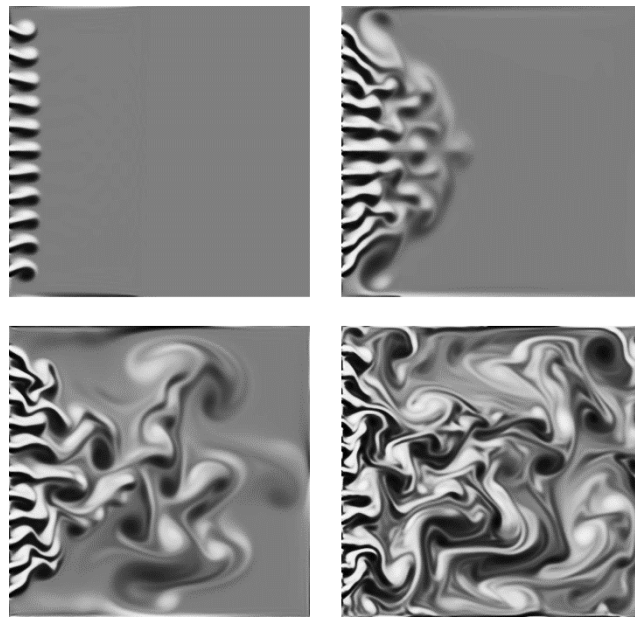


Fig. 2. Solution of the compressible Navier-Stokes's equations corresponding to a flow of gas into a that results from an influx of eleven gas jets (impinging at slightly vertically asymmetric angles). Simulation produced by the Fourier-Continuation methods presented in work by the author with N. Albin. A total of $100 = 10 \times 10$ FC expansions were used. The spatial dependence of the density is displayed at four different points in time.

The Fourier Continuation method (FC) is a spectral alternative to the Fourier and Chebyshev approaches which addresses difficulties encountered in these and other spectral methods. As other approaches, the FC method approximates a given function $y = f(x)$ defined on an interval I of the real line by a Fourier series expansion of a required order, but it does so by (a) relying only on an equi-spaced grid, and (b) in manner that is specifically designed to avoid the approximation error associated with the aforementioned Gibbs phenomenon. (Note that the Gibbs phenomenon occurs, even if f is smooth throughout the interval I , unless f is “smoothly-periodic in I ” in the sense that the periodic extension of f is a continuous and smooth function of x , up to and including the endpoints of I .) In order to eliminate the Gibbs phenomenon, the basic FC algorithm, called FC(Gram)

method (in view of its reliance on Gram polynomials for certain near-boundary operations), constructs an accurate Fourier approximation of f , but where the Fourier expansion is periodic in an interval J which strictly contains I : $J \supset I$.

To do this, the FC algorithm first uses available function values at a few (e.g., five) discretization points near each endpoint of the interval I to produce discrete function values on the interval J but outside I so that, in all, a discrete sampling of a smoothly periodic function f^c defined on the interval J is obtained which coincides with f in the interval I . The discrete continuation function values are obtained by means of certain linear algebra procedure based on evaluation of QR factorization of matrices in high-precision computer accuracy. (The high precision QR factorization used, which eliminates the ill conditioning inherent in the continuation procedure, is a “universal” precomputation—whose results can be stored in a small file in computer disc and uploaded at the beginning of every application of the FC algorithm.) Once the “periodic” vector of function values has been obtained the coefficients of the FC expansion can be efficiently produced by means of the FFT algorithm applied in the interval J . In particular, the Fourier expansion of the function f^c and its derivatives closely approximate the original function f and its derivatives throughout the original interval I , up to and including its endpoints. The extension of this technique to higher dimensions is straightforward, by producing one-dimensional FC-based derivatives one dimension at a time, including arbitrary mixed derivatives of any given order.

The FC method has been applied to a variety of problems in two- and three-dimensional space, including problems in hydro- and gas-dynamics, seismology, acoustics, heat conduction, linear transport theory (e.g. neutron transport, radiative transfer), elasticity, turbulence, etc. In most cases, the applications make use of multiple overlapping (generally curvilinear subdomains) in conjunction with applications of the FC method in curvilinear coordinate systems to match a given structure. One of the most significant advantages of the FC method is its reliance on equi-spaced meshes, which lend a number of benefits, including, as suggested above, manageable CFL constraints on time-steps for time-dependent problems, and simplicity in the domain decomposition and meshing, in addition to spectral-like character leading to low dispersion and diffusion.

A range of applications of FC methods in various areas of science, including computation of seismograms, flow past obstacles, radiative transfer, magneto-hydrodynamics, turbulence, complex shock dynamics, etc., have recently been demonstrated. Here we present a simple application, illustrated in Fig. 2, which concerns the solution of the compressible Navier-Stokes’s equations corresponding to a flow of gas into a chamber resulting from an influx of eleven gas jets. The four subfigures in Fig. 2 depict the

values of the mass density at four different points of time. The jets were arranged in a close-to-symmetric but non-symmetric fashion along the y axis around $y = 0$. The results depicted were produced by means the FC-based algorithms introduced by the author in collaboration with N. Albin, by means of an array of $100 = 10 \times 10$ equisized squares spanning the computational domain. The solution on each one of these squares was produced via Fourier continuation, so that one-hundred different FC expansions are combined in the density values depicted in the figure. In particular it is easy to appreciate that, in view of their accuracy, the decomposition into one-hundred different subdomains does not give rise to visible numerical artifacts at the boundaries between different square subdomains. The aforementioned contributions demonstrate, in each particular instance, the accuracy and efficiency resulting from the algorithms. As demonstrated in these references, in many cases the approach leads to significant efficiency and accuracy gains over the performance provided by other existing algorithms.

4. Green-Function Methods

We now turn to problems whose solutions can be expressed in terms of certain “Green functions”, also called “Fundamental Solutions”, for a given differential equation at hand. A Green function $G(x, y)$ for a differential equation in the variable x is a special solution of the equation for each y , which results as sources concentrated at the single point $x = y$ are prescribed. The importance of Green functions is that, for *linear* differential equations, a solution of the equation can be obtained for an arbitrary source function $f(x)$ as a linear combination of $G(x, y)$ (or, more precisely, as an integral of the product $G(x, y)\varphi(y)$ with a “integral density” function $\varphi(y)$) over a range of values of the variable y .

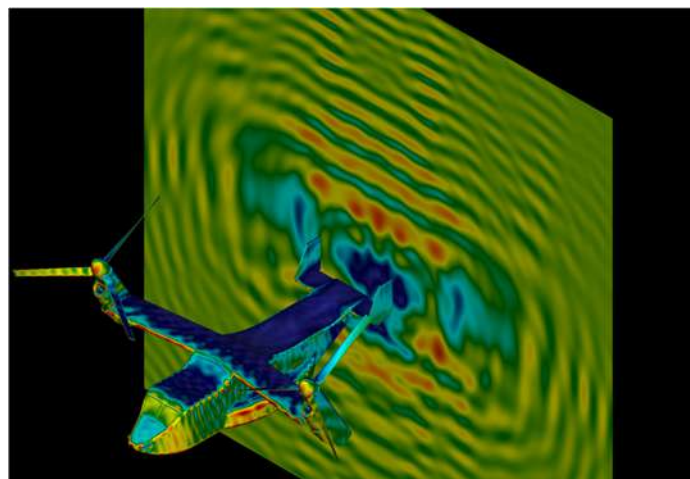


Fig. 3. Solution of problem of scattering produced by means of a commercial implementation of Green function methods introduced by the author and collaborators J. Guzman, V. Kononov and L. Voss.

As indicated above, Green functions can only be utilized for linear problems such as, e.g., the wave propagation problem considered in Section 1; on account of nonlinearity, Green functions are not applicable to problems such as those considered in Section 3. But even for linear equations there are significant restrictions in the use of Green functions as part of efficient computational methods, mainly on account of the high cost required for Green function evaluation—except in the small number of cases for which the Green functions can be *computed in closed form*.

(Under various conditions often met in practice, Green functions for linear equations can be expressed in terms of Fourier transforms. This is indeed so for differential equations with constant coefficients, as established by the celebrated Malgrange–Ehrenpreis theorem. Further, Green functions for equations with certain types of variable coefficients—which only take a finite number of constant values, each one on a simple region such as a half-space or an otherwise separable domain—can in some cases be obtained by means of Fourier transformation and “Sommerfeld Integrals”. Unfortunately, explicit numerical calculations of necessary Green function values by such methods often require a prohibitive computational cost when applied to numerical solution of differential equations.)

In spite of these challenges, Green function-based approaches have had very significant impact in many areas of science and technology. This is due mainly to the fortuitous fact that closed-form Green-function expressions do indeed exist for some of the most important problems in present-day application areas. Thus, Green function methods find direct applicability in electromagnetism, elasticity, heat transfer and acoustics, and they play central supporting roles in the numerical solution of certain nonlinear problems—most famously in hydrodynamics, where Green function methods for the solution of the Poisson equation are often used in an algorithmic step that enforces the incompressibility condition in the *nonlinear* Navier-Stokes equations. Naturally, these Green function methods can be used as components of numerical solvers for multi-physics problems, such as, e.g., the problem of magneto-hydrodynamics—that governs the mutual interactions between gas-dynamics and electromagnetism time evolution of stars as well as the design of nuclear fusion reactors.

It is useful to visualize the character of Green function methods in the context of propagation and scattering of light; analogous descriptions apply in other application contexts. In the light scattering context, the Green function $G(x, y)$ is expressed in closed form in terms of certain derivatives of the expression $\frac{1}{4\pi} e^{k|x-y|}/|x-y|$, where $k = 2\pi/\lambda$ denotes the spatial frequency or “wavenumber” corresponding to the wavelength λ . The Green function admits a compelling physical interpretation: the quantity $G(x, y)$ corresponds to the light that would be observed at point x arising from a source of unit

“intensity” located at the single point y . Clearly, such a source, as a small (infinitesimal) bulb in the otherwise featureless three-dimensional space, generates a spherical illumination wave that expands at the speed of light and which, as time tends to infinity, covers all space. This final time state, as $t \rightarrow \infty$, of the point-source illuminated space, is precisely the Green function $G(x, y)$.

Then, according to Fresnel spectacular interpretation, which, in particular, allowed him to postulate the wave-like structure of light, every point on an illuminated surface reflects a point source $\varphi(y)G(x, y)$ as described in the previous paragraph. According to Fresnel, the combination (sum) of all of these point sources is precisely what we experience as the light that is scattered (reflected) by the surface. Putting aside certain subtleties concerning the vector character of light which were ignored in the early theory, Fresnel interpretation is in accord with the predictions of the subsequent Maxwell’s theory of electromagnetism.

The numerical methods based on Green functions harness Fresnel’s ideas, as well as their extensions to other types of problems for which similar Green functions can be obtained in closed form, or for which Green functions can otherwise be computed numerically with adequate computational efficiency. In the Green function method outlined above, a numerical approximation of the unknown function $\varphi(y)$ is sought. Once this function is determined, the field at any point in space can be obtained by summation, or, more precisely, integration, with respect to y over the given scattering surface.

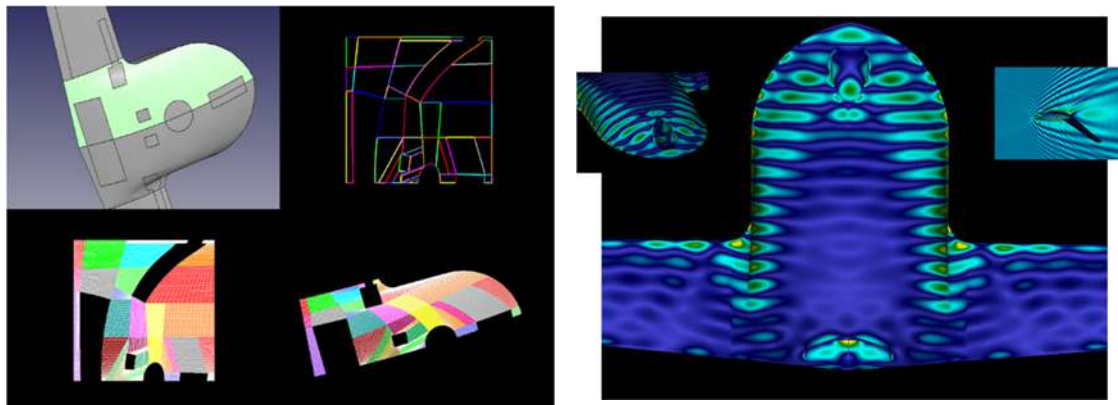


Fig. 4. Left: curved quadrilateralization CAD-file processing resulting from a commercial implementation of methods introduced by J. Guzman and the author and mentioned in Section 4. Right: Surface density (an electromagnetic version of the density φ mentioned in the text, which actually corresponds to the electrical current), and the resulting spatial electric field, obtained by integration.

The unknown function φ can be discretized in a number of ways, including finite-element approximations on the scattering surfaces, which gives rise to one of the preferred approaches in many areas of engineering,

namely, the Boundary Element Method (BEM), called Method of Moments in the electrical engineering literature. Other approaches for the discretization of the function φ are based on point sampling. In either case, for any assignment of values of the discretized density φ , whether or not these discrete values collectively satisfy the physical surface scattering conditions, a value of the integral can be obtained. Using the surface scattering conditions this representation results in a matrix equation for the discretized density φ , whose solution yields this quantity and thus, by integration, as suggested above, the field at any point in space.

As already noted, the Green-function methods considered in this section are based on discretization of the scattering boundaries. These methods thus require significantly smaller discretizations than would be needed to mesh a sufficiently large 3D domain around the scattering structure for use in conjunction with a volumetric finite-element or finite-difference discretization. Compounding challenges, such volumetric approaches require use of a sufficiently large buffer region to enable absorption of outgoing waves, by means of some sort of absorbing boundary condition algorithm such as the Perfectly Matched Layer method. As a counterpart, volumetric finite-element, and finite-difference discretizations result in very sparse matrices, which can be applied and inverted much more efficiently than do full matrices such as those resulting from Green function-based discretizations. The natural question concerning the potential relative benefits of volumetric- vis-à-vis surface-discretization approaches requires a nuanced answer and is considered in what follows.

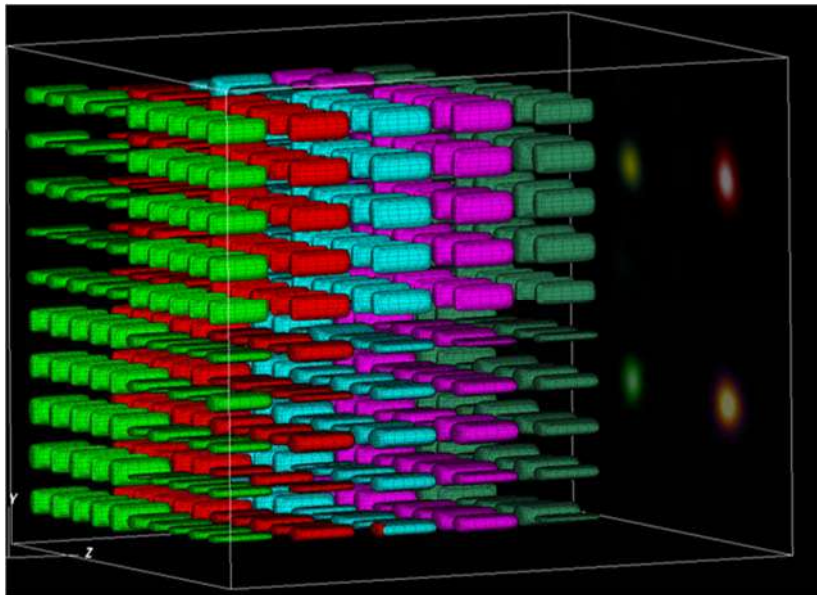


Fig. 5. $10 \times 10 \times 5$ nanopost array designed to focus two different wavelengths and two different polarizations of light at four different points in space. TiO_2 nanoposts in SiO_2 matrix. Array size: 2,439 cubic μm . Design and simulation by A. Fernandez Lado, E. Garza, E. Jimenez, and the author, produced on the basis of accelerated Green function methods.

Useful preliminary indications in this regard can be obtained by considering the asymptotic growth of the computational cost as the size of the problem grows without bound. In detail, for problems of a size given by a certain number of wavelengths, a volumetric method in three-dimensional space requires use a number of the order of $N_V = n^3$ unknowns, where n denotes the number of discretization points used per spatial dimension of a notional discretized cube. For a problem of such a size, a Green function-based surface discretization method requires use of a number N_G of the order of n^2 unknowns (in asymptotic-order notation, $N_G = \mathcal{O}(n^2)$). A straightforward solution via Gaussian elimination for an $N \times N$ matrix requires a $\mathcal{O}(N^3)$ operations for general matrices, but the cost is lower for sparse finite-difference matrices, of the order of $\mathcal{O}(N^{8/3})$, so that, for direct solution the corresponding costs would be $\mathcal{O}(n^6)$ operations for the Green function method vs. $\mathcal{O}(n^8)$ operations for the volumetric approach. But there are multiple caveats to these simple-minded estimates, involving mainly fast alternatives to Gaussian elimination for the solution of the linear system under consideration.

On one hand, for sparse matrices such as those arising from finite-difference and finite-element methods, the frontal and multi-frontal matrix solvers introduced over the last several decades can obtain solutions in as few as $\mathcal{O}(N^2)$ operations, which significantly reduces the finite-difference cost to $\mathcal{O}(N_V^2) = \mathcal{O}(n^6)$ operations: comparable to the direct Gaussian elimination cost for the Green function-based solver. Unfortunately, the multifrontal methods do not produce any gains when applied to dense matrices, such as those arising from use of the Green-function approach.

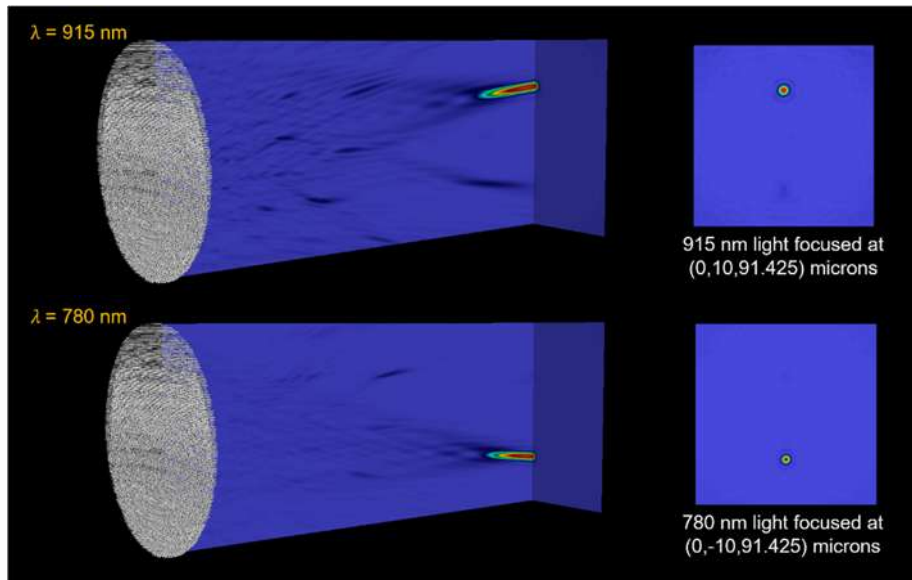


Fig. 6. Metamaterial “lens” consisting of 20,000 micron-sized nanoposts (a much larger variant of the nanopost array presented in Fig. 5). TiO₂ nanoposts in SiO₂ matrix. Array size: 2,439 cubic μm . Simulation by C. Bauinger, E. Jimenez, and the author.

Numerous additional significant advantages of all of these methods could be mentioned. In the context of time-domain finite-difference solvers we emphasize these solvers' ability to produce, by post-processing via Fourier transformation in the time variable, frequency-domain solutions for multiple frequencies as a result of a single time-domain solve, as well as their ability to effectively treat inhomogeneous media. The Green function-based solvers, on the other hand, when implemented with sufficient accuracy for integration of the infinite Green function and infinite currents at edges, and when adequately “accelerated”, excel in their accuracy and applicability to large and geometrically complex problems—possibly involving three-dimensional scatterers hundreds or even thousands of wavelengths in electrical size and beyond.

Figs. 3 and 4 illustrate applications of a commercial implementation of Green function-based solvers proposed by the present author and his collaborators in recent years. In particular, the left panel in Fig. 4 demonstrates the software-based processing of the CAD file (Computer Aided Design) representing an engineering surface (an aircraft in this case) that yields a representation of the surface by a finite number of “logical quadrilaterals”, that is, portions of the surface bounded by four smooth curves, which are given by an explicit parametrization from the unit square. This decomposition is then used by these algorithms to exploit Chebyshev expansions (which were briefly described in Section 3) as well as novel methods for accurate integration of functions that are infinite at certain points. Acceleration provides the final element that enables solution of challenging problems. The available acceleration methods, which include the Fast Multipole Method, the Adaptive Integral Method, and other related approaches, generally rely on Fast Fourier Transforms, and thus reduce the solution to computational costs of the order of $N_G \log(N_G) = n^2 \log(n^2)$ operations—significantly less than those required by other approaches. A novel acceleration introduced recently by C. Bauinger and the author does not rely on use of FFTs, and it thus appears well poised for use in the context of parallel and GPU computing in large computational infrastructures. Various implementations of Green function algorithms and acceleration methods introduced by the author and collaborators are demonstrated in Figs. 3 through 6.

5. Conclusions

As suggested in Section 2, the spectral and Green-function methods considered in these notes derive a distinctive character from use of representation of solutions in terms of explicit functions over large regions in the physical simulation domain. As a result of such representations, these methods avoid the additive accumulation of errors incurred by the local discretizations of derivatives utilized in other approaches. When used in

conjunction with appropriate acceleration methods and algorithms for processing of geometric structures given by CAD representations, these approaches can be applied to (and deliver accurate solutions for) problems which were previously not considered tractable with any reasonable accuracy.



BREVE HISTORIA DEL NEUTRINO

Oswaldo Civitarese

Departamento de Física. Facultad de Ciencias Exactas, Universidad
Nacional de La Plata. IFLP-CONICET, diag 113 y 63, La Plata
Email: osvaldo.civitarese@fisica.unlp.edu.ar

Palabras clave

Neutrinos livianos
Interacciones
electrodébiles
Decaimientos beta
doble
Extensiones del
modelo estandar
Axiones
Bosones derechos
Neutrinos pesados

Keywords

Light neutrinos
Electroweak
interactions beyond
the standard model
Nuclear double
beta decay
Right-handed
bosons
Heavy neutrinos

Resumen En esta presentación me referiré a las cuestiones relacionadas con la física del neutrino, en especial al valor de su masa y a su papel en el esquema de interacciones fundamentales. Se discutirá la posibilidad de relacionar su valor con los correspondientes a los generadores de corrientes derechas en las extensiones mínimas del modelo Estándar. Analizaremos el decaimiento beta doble y los límites actuales para los ángulos de mezcla y masas de los auto-estados de masa en las diversas jerarquías. Finalmente discutiremos la conexión entre la física de neutrinos y la física de la materia oscura.

Abstract Brief history of the neutrino. In these notes I shall address some basic questions related to neutrino physics, the value of its mass and its role in the scheme of fundamental interactions. In this context I will focus the attention on the extensions of the Standard Model of Electroweak Interactions, including right-handed bosons and heavy mass neutrinos. Particularly, I will analyze the case of the neutrinoless double beta decay as a tool to assess the value of the light neutrino. Finally I will discuss the connection between the problem of the neutrino mass in astrophysics and in dark-matter physics.

Dedicatoria

No puedo comenzar estas notas sin antes agradecer a las autoridades de la Academia y a sus miembros por el honor conferido, esperando estar a la altura del mismo.

Deseo dedicar estas notas al Dr Daniel Bes, a quién considero mi maestro y a quién se debe el desarrollo de las actividades de física nuclear teórica en

Argentina y al Dr. Mario Mariscotti, impulsor durante décadas de las actividades en física experimental en el país, concretadas en la construcción y puesta en funcionamiento del Laboratorio TANDAR.

1. Introducción

En esta presentación me referiré a los aspectos discutidos en la conferencia que expuse con motivo de mi incorporación a la Academia Nacional de Ciencias Exactas Físicas y Naturales.

El conocimiento actual referido a la composición de la materia y sus interacciones está contenido en el llamado Modelo Standard, que incluye un sector de interacciones fuertes (SU(3)), un sector de interacciones débiles (SU(2)) y al electromagnetismo (U(1)).

A los generadores de las representaciones respectivas (quarks, gluones, leptones cargados y neutros, bosones cargados y neutros) se suman condiciones requeridas por la observación: confinamiento y libertad asintótica en el sector de quarks y gluones, covarianza relativista e invarianza de gauge y (hasta el momento) ruptura máxima de la paridad en el sector electrodébil (solo las corrientes izquierdas están permitidas en la teoría).

El mecanismo de Higgs (acoplamiento al bosón de Higgs) proporciona una explicación a la existencia de masas y a la estructura de las interacciones a diferentes escalas, desde la fuerte a la nuclear y atómica. Como es sabido, la teoría cuántica de campos y la mecánica cuántica relativista proporcionaron, a lo largo de décadas, las herramientas de cálculo adecuadas para la descripción de las observaciones.

No obstante la consistencia del esquema descripto, persisten algunos serios interrogantes, a los que intentaré hacer referencia en estas notas, que constituyen el tema de mi trabajo y del trabajo de muchos colegas con los que trabajé. Estos interrogantes son (primariamente):

a) Naturaleza y composición del neutrino (es una partícula de Dirac y por lo tanto distinta de su antipartícula o de Majorana, y por lo tanto idéntica a su antipartícula ?

b) Cuál es su masa, ya que si la posee ella no proviene del mecanismo de Higgs,

c) Qué ocurre con las corrientes derechas y por qué limitar el conjunto de bosones W_{\pm} y Z_0 al sector izquierdo?

d) Por qué persistir con representaciones de dobletes leptónicos (electrón, anti-neutrinos) izquierdos y singuletes (positrones) derechos?

e) *Es posible mantener la noción de conservación del tipo leptónico? (en otras palabras: electrones y muones puede cambiar su estructura en presencia de los núcleos atómicos?)*

f) *Existen otras especies de neutrinos además de los asociados a los leptones cargados?*

g) *Cómo entra en el esquema del Modelo Standard la materia oscura?*

En lo que sigue me referiré brevemente a cada cuestión. Los detalles se consignan en la lista de publicaciones que aparece al final de las notas.

2. La Escuela de Roma: Fermi y Majorana

La historia del neutrino comienza con la observación del decaimiento beta y en su interpretación teórica, debida principalmente al trabajo del físico italiano Enrico Fermi (Fermi, 1933, 1934), quien observó que las cadenas de decaimientos con cambio de carga que tenían lugar en los núcleos atómicos implicaban la transformación de neutrones en protones (modo β^-) o protones en neutrones, (modo β^+) y estaba acompañada por la emisión de electrones o positrones, respectivamente.

Cuando estos decaimientos eran analizados en términos de estas partículas el balance de energías mostraba la violación del principio de conservación de la energía, algo inédito en Física.

El balance de cargas estaba correctamente descrito en la relación del número de protones del estado inicial con respecto al número de protones y electrones o positrones del estado final pero no en el balance correspondiente a la diferencia de energía entre los estados iniciales y finales y la correspondiente a la masa del electrón (positrón) emitidos. Entonces se postuló la existencia de una partícula, cuya masa debía ser extremadamente pequeña, su carga eléctrica nula y cuyo momento angular intrínseco debía ser semi-entero. Esta partícula fue denominada neutrino (*piccolo neutron*).

El estudio de las propiedades del neutrino impactó en el desarrollo de la teoría de partículas elementales y recibió nuevo impulso al formular Ettore Majorana su famoso postulado, que en términos sencillos consiste en afirmar que el neutrino es su propia antipartícula (Majorana, 1932). Junto al trabajo pionero de Majorana, las primeras consideraciones formuladas en relación al neutrino y sus propiedades, fueron concretadas por el físico italiano, naturalizado ruso, Bruno Pontecorvo, ex-discípulo de Enrico Fermi (Pontecorvo, 1957) en el Instituto de Física Nuclear de Dubna, hoy denominado Instituto N. N. Bogoliubov.

En su trabajo de 1957 (Pontecorvo, 1957) y en trabajos posteriores

(Pontecorvo, 1968), Pontecorvo se refirió a la posible transformación de una especie de neutrino en otro y planteó la diferencia entre neutrinos del sabor electrón y del sabor muón (Bilenky, 1978).

Uno de los discípulos de Pontecorvo, S. M. Bilenky, describió dichos avances en 2015 (Bilenky, 2015). Pontecorvo discutió no sólo el problema de la masa del neutrino, sino también la cuestión de las oscilaciones y la presencia de corrientes en los canales correspondientes a leptones pesados.

Pese a las décadas transcurridas desde entonces, ya casi una centuria, los problemas generados por el descubrimiento del neutrino como elemento esencial en la descripción de la estructura de la materia, sus componentes elementales y sus modos de interacción y decaimiento continúan vigentes.

Como hemos mencionado en la Introducción a estas notas, no conocemos aún el valor de la masa del neutrino, no sabemos si existen especies extra de neutrinos, no sabemos si el modelo standard de las interacciones electrodébiles contiene corrientes derechas o si solamente contiene corrientes izquierdas, no conocemos el mecanismo de generación de masa para el neutrino y no sabemos qué papel cumple el neutrino en la relación de materia oscura y materia visible.

Los detalles básicos de la formulación teórica convencional pueden consultarse en los textos de Weinberg (1996), Lee (1981), Bailin y Love (1993) y Aitchinson y Hey (1982).

En lo que sigue discutiré estas cuestiones, de la manera más sencilla posible, a partir de los resultados de nuestro trabajo, tal como se indica en las publicaciones respectivas (ver Referencias). Como fuente de información adicional me referiré al video de la charla de incorporación a la Academia, presentada el 21 de mayo del 2021.

3. El comienzo: problemas y soluciones

Desde el agregado del neutrino al conjunto de partículas y/o grados de libertad necesarios para describir los decaimientos electrodébiles está pendiente la cuestión referida a su representación formal como fermión tipo Dirac (cada partícula es distinta a la antipartícula correspondiente a la representación) o tipo Majorana (cada partícula es idéntica a la respectiva antipartícula).

El neutrino es un fermión eléctricamente neutro y su momento angular intrínseco (spin) es semientero. A diferencia del neutrón, que también es un fermión de carga nula y que a nivel quarks está compuesto por dos quarks

down y un quark up, el neutrino descrito como una combinación de estados de masa oscila entre diferentes estados de sabor.

El sabor es una forma de identificar al leptón cargado que acompaña al neutrino (sabor electrón, muón o tau). Las representaciones correspondientes a cada sabor están recopiladas, entre otras fuentes, en el texto de Mohapatra y Palash (1991).

Esta particularidad, la de oscilar entre estados, tal como lo fuera anticipado por Bruno Pontecorvo (op. cit), ha sido observada en el sistema de kaones, donde la oscilación tiene lugar entre estados de partícula y antipartícula (Beshtoev, 2013). Si el neutrino es un fermión de Dirac entonces el término de masas de la amplitud de transición del decaimiento beta doble nuclear (modo sin neutrinos en el estado final) debe anularse. Si el neutrino es un fermión de Majorana dicho término debe ser no nulo y el decaimiento beta doble sin neutrinos en el estado final debe ser observado.

En nuestros trabajos (ver Referencias) hemos estudiado este problema en detalle y determinado valores teóricos, algunos de los cuales han sido confirmados experimentalmente, como el mecanismo de supresión de elementos de matriz del operador de Gamow-Teller en transiciones a núcleos doble impares, propuesto en 1987 (Civitarese et al., 1987), y otros aún aguardan por su confirmación, como los decaimientos beta doble en el sector de positrones propuesto en 1993 (Suhonen et al., 1998a). En Suhonen et al. (1998b) hemos consignado estos resultados.

4. El fenómeno de las oscilaciones

Si consideramos al neutrino como una partícula elemental su estructura no debe cambiar como función del tiempo. Sin embargo, al estudiarse diversas reacciones que involucran neutrinos, por ejemplo las que ocurren en el Sol, se observa un déficit en el flujo de neutrinos tipo electrón. Algo análogo ocurre con los neutrinos generados en el decaimiento débil de mesones al ingresar a la atmósfera terrestre.

Una posibilidad (Smirnov, 2003), confirmada por las mediciones efectuadas por R. Davis mediante la captura de neutrinos tipo electrón provenientes del Sol (neutrinos solares) por núcleos de Cl que decaen a núcleos de Argon acompañados por la emisión de electrones (Cleveland et al., 1998) y más recientemente por Jelley et al. (2009) y Kajita en Kamioka (Abe et al., 2015), consiste en describir a los neutrinos de cada especie de sabor (electrón, muón, tau) como combinación lineal de tres (o más) autoestados (neutrinos de masa). Como lo prescribe la mecánica cuántica, la combinación lineal a tiempo $t=0$, es decir durante el proceso inicial, y la correspondiente a

un dado tiempo t posterior, dependerá de la diferencia en energía entre ambas combinaciones de estados. Este descubrimiento es una pieza clave en la comprensión actual de los fenómenos que involucran neutrinos y mereció el reconocimiento de la Academia Sueca en varias oportunidades.

Ahora bien, si consideramos a los neutrinos involucrados en las corrientes electrodébiles como compuestos por autoestados de masa surge inmediatamente la cuestión referida al número y ordenamiento jerárquico de tales autoestados (Mikheyev y Smirnov, 1985; McKellar y Thomson, 1994; Dasgupta et al., 2008; Schwetz et al., 2011). Esta cuestión, que hace a la posible existencia de los llamados neutrinos estériles, es un tema de investigación actual, por ejemplo, en el estudio de la evolución de estados previos al colapso y explosión de supernovas (Acero et al., 2022).

El carácter compuesto de los neutrinos posibilita la manifestación de fenómenos de decoherencia en el flujo de neutrinos provenientes de fuentes lejanas debido a las interacciones con otras partículas en el medio intergaláctico o interestelar (Bes et al., 2017, 2018). Recientemente hemos utilizado este mecanismo para identificar posibles distribuciones de materia oscura (Penacchioni et al., 2019, 2022).

5. Neutrinos en medios densos, resonancias

Como hemos mencionado anteriormente, la textura de la matriz de masas y el ordenamiento de las masas primordiales es objeto de intensas búsquedas a nivel experimental y nuestro conocimiento actual se ve reflejado en límites para los ángulos de mezcla y jerarquías de masas. No obstante, la distinción entre jerarquías de masas normal, inversa o degenerada no está establecida fehacientemente.

El trabajo de Dighe y Smirnov (2000) y Balantekin y otros (Balantekin et al., 2022) permite incorporar un elemento más a esta formulación teórica al establecer la posible existencia de resonancias asociadas a la interacción de neutrinos con medios densos.

Debido a la baja intensidad de los acoplamientos entre neutrinos y la materia hadrónica, los efectos de resonancias requieren, para evidenciarse, de altas concentraciones de materia.

En el trabajo reportado en Saez et al. (2022) estudiamos el comportamiento de estas resonancias en medios inter y extra-galácticos y en particular en los estadios de pre-explosión de supernovas. Tomando como ejemplo una supernova de la clase de la SN1987A y adoptando los modelos propuestos por Smirnov y Balantekin es posible analizar escenarios de interés

para la física de sistemas análogos tomando el comportamiento de los neutrinos como fuente de información.

6. El problema de la masa del neutrino

Hasta el momento la asignación de un valor a la masa del neutrino depende de los límites extraídos del proceso que se observa, e.g: neutrinos provenientes del Sol, neutrinos provenientes de decaimientos en la atmósfera terrestre, neutrinos con energías al final del espectro de decaimientos beta. Los valores varían en el rango comprendido entre decenas de electrón-voltios (eV) a milésimas de eV.

La imposición de una dada jerarquía de masas, sea ésta normal, inversa o degenerada, limita muy fuertemente los valores estimados para las diferencias de los cuadrados de las masas. Para el caso de la jerarquía normal el rango de masas esperado se puede tornar inobservable para las mediciones que se efectúen con las técnicas actuales (Barabash, 2018).

De esto surge la necesidad de desarrollar nuevas técnicas de detección. A los diseños tipo SNO (Jelley et al., 2009) y Kamiokande (Fukuda et al., 2003) se suman las propuestas de aumento de volumen y cantidad del material de los detectores. Tal el caso de Super Kamikande (Abe et al., 2015), SNO+, Xenon1T, etc. Aquí el concepto dominante es el del aumento del material del detector como forma de mejorar la estadística acortando los tiempos de medida.

Para los detectores donde el material que decae es el mismo material que compone al detector, tal el caso de las mediciones relacionadas con el decaimiento beta doble en Ge, Te, Xe o en los centelladores (INa), la sensibilidad debe ser mayor para energías de los electrones emitidos en valores correspondientes al final del espectro. Para estos casos se debe, además, efectuar un estudio muy detallado de la composición de la radiación de fondo.

A la vista de estos emprendimientos, las mediciones que efectuó Davis en una escala mucho menor de recursos, y que le significaron el otorgamiento del premio Nobel, pueden ser calificadas de heroicas.

La determinación experimental del valor de la masa del neutrino no es, ciertamente, un mero problema académico. Significa elucidar cuestiones fundamentales y constituye, casi cien años después del descubrimiento del neutrino, un tema abierto cuya importancia en la comprensión de los fenómenos de la Naturaleza es crucial.

7. Corrientes derechas, bosones derechos, neutrinos pesados

El modelo standard de las interacciones electrodébiles, formulado por Weinberg, Salam y Glashow (Bilenky et al., 1982) establece la descripción de decaimientos beta mediante la emisión o absorción de bosones cargados (bosones W) seguidos por la emisión de pares electrón (positrón)-antineutrino (neutrino) todos ellos representados por componentes izquierdas de las corrientes.

Las constantes de acoplamiento, en cada caso, resultan del cociente entre la constante de Fermi y el cuadrado de la masa de los bosones mediadores. En el caso de corrientes neutras las interacciones están mediadas por el bosón neutro (bosón Z_0) con la misma simetría izquierda. El modelo estándar viola maximalmente la simetría quiral al incluir sólo componentes izquierdas de las corrientes. Además, establece que la masa de todas las partículas participantes de los decaimientos, excepto los neutrinos, se generan a partir del acoplamiento al bosón de Higgs.

Dado que los neutrinos de corriente exhiben el fenómeno de las oscilaciones entre estados de sabor, neutrinos tipo electrón se pueden convertir en neutrinos tipo tau o mu porque poseen masa, es posible plantear la necesidad de ampliar el modelo estándar incorporando términos derechos de las corrientes. Si se trabaja en esta dirección, incorporando un nuevo grupo SU(2) derecho al esquema SU(2) (izquierdo) x U(1) (electromagnético), entonces la construcción de corrientes derechas implica necesariamente la introducción de un nuevo conjunto de bosones mediadores derechos, tanto cargados como neutros (Vergados, 2016).

Al conjunto de masas de los neutrinos livianos debe sumarse un nuevo conjunto de autoestados de masas pesadas, del orden de las centenas de MeV (Vergados, 2016). De acuerdo a este esquema a la matriz de mezcla del sector de masas livianas debe agregarse una nueva matriz de mezcla para el sector de masas pesadas. Naturalmente esto agrega nuevos parámetros cuyos valores deben determinarse experimentalmente; tal es el caso de ángulos de mezcla y diferencias cuadráticas de masas entre neutrinos pesados.

Las masas esperadas para los bosones derechos, en ciertas reacciones con protones, son del orden del TeV. Experimentos como los llevados a cabo en el acelerador del CERN han llegado al borde inferior de ésta región de energías y es de esperar que en el futuro inmediato la respuesta a la cuestión referida a la existencia de tales nuevas partículas pueda establecerse fehacientemente.

Mientras tanto se cuenta con otra fuente de información y es la aportada

por los estudios del decaimiento beta doble, al que nos referiremos a continuación.

En el marco de nuestros cálculos teóricos y considerando límites a la masa del neutrino del orden de décimas de eV hemos obtenido valores del orden de 2-5 TeV para las masas de los eventuales bosones derechos (Civitarese et al., 2015, 2016). Aquí es importante destacar que para valores menores de la masa del neutrino (milésimas de eV o menores) y la jerarquía normal en el ordenamiento de autoestados de masa, es posible obtener valores para los bosones derechos cuasi-degenerados con respecto a las masas de los bosones izquierdos.

De confirmarse los resultados recientemente divulgados por el Fermi Lab, ésta podría ser la explicación más sencilla y la más interesante desde el punto de vista teórico: neutrinos masivos ultra-livianos y simetrías completas de las corrientes electrodébiles.

Subsistiría aún el problema del mecanismo de generación de masa para el neutrino, y a este aspecto nos referiremos al mencionar la posible existencia del axión en la Sección 9 de esta nota.

8. El decaimiento beta doble

El decaimiento beta es, como mencionamos anteriormente, el proceso mediante el cual un neutrón se transforma en un protón acompañado de un par electrón-antineutrino (decaimiento β^-), o un protón se transforma en un neutrón acompañado de un par positrón-neutrino (decaimiento β^+). Ambos modos de decaimiento son posibles cuando a partir de un núcleo dado, el llamado núcleo madre, el estado final en el núcleo resultante, el llamado núcleo hija, posee una energía menor a la del estado inicial (Bohr et al., 1969).

Utilizando la notación usual diremos que el núcleo inicial, con N neutrones y Z protones, decae al núcleo final con $N-1$ neutrones y $Z+1$ protones (modo de decaimiento β^-) o $N+1$, $Z-1$ (modo de decaimiento β^+). De esta manera puede explicarse la secuencia de estados nucleares que se generan a partir de una especie nuclear dada. Una variante en las cadenas de decaimiento, que se observa en un número limitado de casos, ocurre cuando a partir de un núcleo dado, con N neutrones y Z protones se pueden poblar estados en un núcleo resultante con $N-2$ neutrones y $Z+2$ protones. Este proceso, conocido como decaimiento beta doble, ocurre cuando el estado fundamental del núcleo intermedio con $N-1$ neutrones y $Z+1$ protones posee una energía mayor que la del estado fundamental del núcleo inicial. En este proceso, a su vez, pueden manifestarse dos canales distintos: a) el decaimiento beta doble con emisión de dos electrones y dos neutrinos, que es el

denominado modo $2\nu\beta\beta$, y b) el decaimiento beta doble con emisión de dos electrones pero sin neutrinos, denominado modo $0\nu\beta\beta$ (Suhonen et al., 1998b).

En el caso del modo $2\nu\beta\beta$ la descripción teórica consiste en la consideración de dos decaimientos sucesivos con emisión de dos electrones y dos antineutrinos. El espectro de energía de los dos electrones emitidos exhibe, de acuerdo a las mediciones efectuadas, una forma cuasi-gaussiana que se extiende hasta el valor de la energía máxima permitida, que corresponde a la diferencia de energía entre los estados inicial (núcleo N, Z) y final (núcleo $N-2, Z+2$), ya que el par de antineutrinos emitidos no es detectado. Este modo de decaimiento, si bien muy raro ya que su vida media es del orden de 10^{18} - 10^{20} años, y por lo tanto interesante en sí mismo desde el punto de vista del desarrollo de técnicas experimentales (Barabash, 1996), pero no aporta información alguna respecto a la naturaleza de los neutrinos.

El decaimiento beta doble con emisión de dos neutrinos ha sido observado en varios casos y los modelos teóricos discreparon inicialmente en la interpretación de los mismos, hasta que propusimos la inclusión de interacciones entre protones y neutrones en el canal de dos partículas, tanto en modelos esquemáticos como en modelos realistas de la estructura nuclear involucrada (Civitarese et al., 1987). Desde entonces, nuestros resultados teóricos para el modo $2\nu\beta\beta$ fueron confirmados experimentalmente.

En lo que respecta al modo de decaimiento beta doble sin neutrinos, modo $0\nu\beta\beta$, la búsqueda experimental continúa y el límite establecido actualmente para la masa del neutrino, cuyo valor esperado debe ser menor a una décima de eV, proviene de la no-observación del modo $0\nu\beta\beta$ al nivel de vidas medias del orden o mayores que 10^{24} años (Barabash, 2018).

La explicación teórica del modo de decaimiento con dos neutrinos en el estado final constituyó un problema que suscitó la atención de los físicos teóricos durante décadas hasta que el agregado de interacciones entre protones y neutrones en el canal de dos partículas aportó la solución, como ya hemos mencionado. En lo que respecta a la teoría correspondiente al modo sin neutrinos, el sector de estructura nuclear no exhibe la misma sensibilidad asociada al otro canal (modo con dos neutrinos) pero en este caso la incerteza mayor corresponde al modelo adoptado para describir las interacciones débiles, como hemos discutido en varios trabajos (Suhonen et al., 1998).

Estos estudios se desarrollan de manera continuada, tanto a nivel de la formulación de modelos teóricos como a nivel del diseño de nuevas técnicas experimentales. Desde hace 20 años nos hemos ocupado de este problema y documentado los aportes de colegas teóricos y experimentales en la serie de conferencias MEDEX que se llevan a cabo cada dos años en el Instituto Tecnológico de la Universidad de Praga.

9. Axiones

La problemática expuesta en relación al neutrino, que lleva ya alrededor de cien años desde la propuesta original de Fermi y Majorana, está acompañada en este momento por otra cuestión no menos importante: la referida a la existencia y composición de la materia oscura. Como las observaciones astronómicas muestran, el universo se expande de manera acelerada, tal como si entre los cúmulos de materia visible existiesen formas de materia y/o energía repulsivas. Basado en estas observaciones el balance en fracciones indica que la materia visible constituye alrededor del 5%, la materia oscura 25% y la energía oscura 70%.

Como hemos mencionado en el material expuesto en las secciones anteriores, el mecanismo de Higgs no es aplicable al caso del neutrino, cuya masa no-nula es requerida por la existencia de las oscilaciones entre diferentes estados de sabor.

Hace ya varios años, R. Peccei y H. Quinn (Peccei y Quinn, 1977) propusieron, como forma de explicar el problema de la no-observación del momento dipolar del neutrón, la existencia de una partícula, el axión, definido como un bosón escalar neutro. A la propuesta original de Peccei y Quinn se suma, en la actualidad, la posibilidad de interpretar las propiedades de la materia oscura a partir del axión y su acoplamiento con otras partículas (Chada Day et al., 2021).

Esta alternativa abre, a su vez, una muy interesante posibilidad: la referida al acoplamiento de neutrinos y axiones. Los desarrollos teóricos respectivos han dado lugar al trabajo reciente de Penachioni et al. (2022).

De acuerdo a nuestros resultados, existe una relación directa entre los valores de la masa del axión y la masa del neutrino. Esta relación está definida por una constante, la constante de acoplamiento axión-neutrino, y por el valor de vacío del campo del axión. Este es el objeto de nuestro trabajo actual y constituye una muy interesante conexión en la intersección de los modelos que describen las extensiones del modelo estándar de interacciones electrodébiles, los modelos de estructura nuclear y los modelos de materia oscura.

10. Conclusiones

En esta presentación he intentado describir algunos de los aspectos importantes de la búsqueda por conocer que nos propone la Física. En este caso, la búsqueda se centra en el neutrino. Sin el neutrino el universo tal como

lo conocemos no existiría. Es una búsqueda fascinante que implica la integración, en la práctica, de los conceptos provenientes de la teoría de campos, la teoría de partículas elementales, la física nuclear y la astrofísica.

Las posibilidades a futuro son amplias, tanto en las actividades teóricas como en las experimentales. En estas últimas, las expectativas están puestas en la construcción de ambientes adecuados para la ubicación de nuevos dispositivos experimentales, al tipo de los detectores de gran volumen, base de la llamada física sin aceleradores.

Maximizar el potencial de descubrimiento en los experimentos que se están llevando a cabo en reacciones con neutrinos requerirá del desarrollo de la interfase física nuclear - física del neutrino - astrofísica nuclear. En esta dirección se han orientado nuestros trabajos más recientes y varias de las tesis doctorales y de licenciatura que hemos orientado (Colombi, 2020; Saez, 2021; Fushimi, 2021).

Finalmente, deseo mencionar que, localmente, impulsamos junto a colegas argentinos y chilenos, la construcción del laboratorio subterráneo ANDES (Civitarese, 2015), para la realización de experimentos de detección directa de neutrinos y de otros experimentos que requieren de condiciones de muy baja radiactividad de fondo.

La respuesta a todos o parte de los interrogantes que hemos planteado llegará, esperamos, en el futuro inmediato, considerando la intensa actividad en el campo.

Agradecimientos

A mi alma mater, la Universidad Nacional de La Plata (UNLP), al CONICET, a la Fundación Alexander von Humboldt y a la Fundación J. S. Guggenheim, por el apoyo recibido a lo largo de cuatro décadas de trabajo dedicado a los temas que he expuesto. A mis ex-tesistas y ex-alumnos de tesis de licenciatura de la Facultad de Ciencias Exactas y de la Facultas de Ciencias Astronómicas de la UNLP y a los investigadores que ha formado o aún forman el grupo de investigación en el que me desempeño. Al Dr. Ernesto Maqueda, por su generoso apoyo durante décadas y por haberme brindado su experiencia en temas de ética y política universitaria y de organización institucional en investigación.

Referencias

Aaltonen T et al. (CDF Collaboration) (2022) High-precision measurement of the W boson mass with the CDF II detector Science, 376:170-176.

- Abe K. et al. (T2K Collaboration) (2015) Measurements of neutrino oscillation in appearance and disappearance channels by the T2K experiment with 6.6×10^{20} protons on target. *Physical Review D.*, 91:072010.
- Acero MA et al. (2022) White paper on light sterile neutrino searches and related phenomenology. arXiv:2203.07323.
- Aitchinson JR, Hey AJ (1982) Gauge theories in particle physics. Sussex University Press.
- Bailin D, Love A (1993) Introduction to gauge field theory. CRC Press (Boca Raton, USA), pp. 1-384.
- Barabash S, Saakyan R (1996) Experimental limits on $2\beta^+$, $K\beta^+$, and $2K$ processes for ^{130}Ba and on $2K$ capture for ^{132}Ba . *Physics of Atomic Nuclei*, 59:179-184.
- Barabash S (2018) Possibilities of future double beta decay experiments to investigate inverted and normal ordering region of neutrino mass. *Frontiers in Physics*, 6, 00160, DOI: 10.3389/fphy.2018.00160.
- Bes DR, Civitarese O (2017) Decoherence effects in neutrino fluxes. *AIP Conference Proceedings* 1894, 020006.
- Bes DR, Civitarese O, Mosquera ME (2018) Decoherence effects in neutrino fluxes from the sun and from microquasars. *Journal of Physics: Conf. Series (XLI Symposium on Nuclear Physics 2018)*, 1078, 012004.
- Beshtoev KM (2013) About K^0 , K^0 meson oscillations at strangeness violation by weak interactions without and with taking into account meson decays. arXiv:1303.1815v1.hep-ph.
- Bilenky SM (2015) Some comments on high precision study of neutrino oscillations. *Physics of Particles and Nuclei Letters*, 12, 453, arXiv:1502.06158 hep-ph,
- Bilenky SM, Pontecorvo BM (1978) Lepton mixing and neutrino oscillations. *Physics Reports*, 41:225-261.
- Bilenky SM, Husek J (1982) Glashow-Weinberg-Salam theory of electroweak interactions and the neutral currents. *Physics Reports (Review Section of Physics Letters)* 90:73-157.
- Bohr AA, Mottelson BR (1969) Nuclear structure. A. Benjamin (Amsterdam), pp. 399-413.
- Chadha Day F, Ellis J, Marsh DFJ (2021) Axion Dark Matter: What is it and why now? CERN-TH-2021-045, IPP/20/91.
- Civitarese O (2015) The ANDES underground laboratory project. *Nuclear and Particle Physics Proceedings* 267, pp. 377–381.
- Civitarese O, Faessler A, Tomoda T. (1987) Suppression of the two-neutrino double β decay. *Physics Letters B*, 194:11.
- Civitarese O, Suhonen J, Zuber K (2015) Simultaneous analysis of neutrinoless double beta decay and LHC pp-cross sections: limits on the left-right mixing angle. *Journal of Physics, Conference Series* 639, 012012.
- Civitarese O, Suhonen J, Zuber K. (2016) Combining data from high-energy proton-proton reactions and neutrinoless double-beta decay: Limits on the mass of the right-handed boson. *International Journal of Modern Physics E*, 25, 1650081.
- Cleveland BT, Daily T, Davis Jr. R, Distel JR, Lande K, Lee CK, Wildenhain PS, Ullman J (1998) Measurement of the solar electron neutrino flux with the homestake chlorine detector. *Astrophysical Journal*, 496:505-526.
- Colombi P (2020) Interacciones entre neutrinos: efectos colectivos y aplicaciones a medios astrofísicos. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias Exactas, Universidad Nacional de La Plata (Argentina).
- Colombi MP, Civitarese O, Penacchioni AV (2021) Does the DM background affect the propagation of extragalactic neutrinos? *International Journal of Modern Physics E*, 30, 2150081.
- Dasgupta B, Dighe A, Mirizzi A. (2008) Identifying neutrino mass hierarchy at extremely small Θ_{13} through earth matter effects in a supernova signal. arXiv:0802.1481v3.
- Dighe AS, Smirnov AY (2000) Identifying the neutrino mass spectrum from a supernova neutrino burst. *Physical Review D*, 62, 033007.
- Fermi E (1933) Tentativo di una teoria dei raggi β . Nota preliminare. *Ricerca Scientifica*, 2.
- Fermi E (1934) Tentativo di una teoria dei raggi β . *Il Nuovo Cimento*, 11: 1-19.
- Fukuda Y et al. (2003) The Super-Kamiokande facility. *Nuclear Instruments and Methods A*, 501: 418-462.
- Fushimi KJ (2021) Estudio de modelos de materia oscura leptónica fría y sus efectos e escenarios de interés cosmológico. Tesis de Doctorado, Facultad de Astronomía, Universidad Nacional de La Plata (Argentina).
- Fushimi KJ, Saez MM, Mosquera ME, Civitarese O (2021) Dark matter, SN neutrinos and other backgrounds in direct dark matter searches. *International Journal of Modern Physics E*, 30: 2150107, arXiv: 2202.03887v1.

- Jelley N, McDonald AB, Robertson Hamish RG (2009) The Sudbury Neutrino Observatory. Annual Review of Nuclear and Particle Science. 59: 431-65.
- Lee TD (1981) Particle physics and introduction to field theory. Harwood Academic Publishers (New York), pp. 1-865.
- Majorana E (1932) Teoria relativistica di particelle con momento intrinseco arbitrario. Il Nuovo Cimento, 9:335-344.
- McKellar BHJ, Thomson MJ (1994) Oscillating neutrinos in the early universe. Physical Reviews D, 49:2710.
- MEDEX (2022) El ciclo de conferencias MEDEX es organizado por el Institute of Experimental and Applied Physics de la Czech Technical University, Prague (Czech Republic); la Universidad de La Plata (La Plata, Argentina), y la Universidad de Jyväskylä (Jyväskylä, Finland), y tiene lugar cada dos años desde 1997. Los trabajos presentados y expuestos en MEDEX son publicados por el American Institute of Physics (ver, por ejemplo, AIP Conference Proceedings, 2007, vol. 942, pp 1-115).
- Mikheyev AY, Smirnov AY (1985). Resonance enhancement of oscillations in matter and solar neutrino spectroscopy. Soviet Journal of Nuclear Physics, 42:913–917.
- Mohapatra RN, Palash B (1991) Massive neutrinos in physics and astrophysics. World Scientific Lecture Notes in Physics, 41, pp. 1-336.
- Peccei RD, Quinn HR (1977) CP conservation in the presence of pseudo particles. Physical Review Letters, 38:1440.
- Penacchioni AV, Civitarese O (2019) Extragalactic neutrinos as tracers of dark matter? arXiv:1904.04355v1.
- Pennachioni AV, Civitarese O (2022, en prensa). Constraining the axion mass from the non observation of $0\nu\beta\beta$. International Journal of Modern Physics.
- Pontecorvo B (1957) Mesonium and anti-mesonium. Zhurnal Eksperimentalnoi i Teoreticheskoi Fiziki, 33:549-551.
- Pontecorvo B (1968) Neutrino experiments and the problem of conservation of leptonic charge. Zhurnal Eksperimentalnoi i Teoreticheskoi Fiziki, 53:1717–1725.
- Saez M (2021) Estudio de formación de elementos pesados con inclusión de neutrinos masivos. Tesis de Doctorado, Facultad de Astronomía, Universidad Nacional de La Plata (Argentina).
- Saez MM, Mosquera ME, Civitarese O (2022 en prensa) Neutrino interactions in liquid scintillators including active-sterile neutrino mixing. International Journal of Modern Physics.
- Schwetz T, Tortola M, Valle JWF (2011) Global neutrino data and recent reactor fluxes: status of three flavour oscillation parameters. arXiv:1103.0734v2.
- Smirnov AY (2003). The MSW effect and solar neutrinos. arXiv e-prints (Preprint hep-ph/0305106)(2003).
- Suhonen J, Civitarese O (1998a) Systematic QRPA study of beta decay and electron capture decay transitions to excited states in 110-114 Cd and 114-122Sn . Nuclear Physics A, 584:449.
- Suhonen J, Civitarese O (1998b) Weak interactions and nuclear structure aspects of nuclear double beta decay. Physics Report, 300:123
- Vergados JD (2016) The standard model and beyond. World Scientific, pp. 1-452.
- Weinberg S (1996) The quantum theory of fields. Cambridge University Press.



SAOCOM: SATÉLITE ARGENTINO. EL PROYECTO ANTENA RADAR DE APERTURA SINTÉTICA EN LA COMISIÓN NACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA

Alberto Martín Ghiselli, Andrea Lorenzo, Nicolás Belinco, Horacio Quiroz, Silvio Terlisky, Alfredo Hazarabedian, Elena Forlerer, Hernán Garonis, Horacio Dhers, Gustavo Di Pasquale, Mauricio Sacchi, César Belinco*

Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA), Centro Atómico Constituyentes, Av. General Paz 1499, San Martín, Provincia de Buenos Aires, Argentina

*Autor de correspondencia: ghiselli@cnea.gov.ar

Palabras clave

Satélites
Estructuras
espaciales
Materiales
compuestos
Mecanismos de
despliegue

Keywords

Satellites
Space structures
Composite
materials
Deployment
mechanisms

Resumen A partir de un contrato de cooperación firmado entre la Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA) y la Comisión Nacional de Actividades Espaciales (CONAE), la primera asumió la responsabilidad de proveer la estructura, los mecanismos de despliegue y los módulos radiantes de la antena del Instrumento Radar de Apertura Sintética (SAR) para los satélites del Proyecto SAOCOM. Este trabajo presenta una descripción de la Antena SAR diseñada por CNEA para el Proyecto SAOCOM y de los procesos desarrollados en CNEA para la fabricación, integración y ensayo de sus componentes.

Abstract SAOCOM: Argentine Satellite. The Synthetic Aperture Radar Project at the Atomic Energy National Commission. Under a cooperation contract between the Atomic Energy National Commission (CNEA) and the Spatial Activities National Commission (CONAE), the first institution takes the responsibility to supply the structure, deployment mechanisms and radiant modules of the SAOCOM Project satellite's antennas for the Synthetic Aperture Radar Instrument (SAR). The paper presents a description of the SAR Antenna designed by CNEA for the SAOCOM Project and the processes developed at CNEA to carry out the manufacture, integration and test of the components.

1. Introducción

El Proyecto SAOCOM de la Comisión Nacional de Actividades Espaciales (CONAE), comprende la puesta en órbita de dos satélites destinados a la observación de la Tierra cuyos principales objetivos son la medición de la humedad del suelo y aplicaciones en emergencias, tales como detección de derrames de hidrocarburos en el mar y seguimiento de la cobertura de agua durante inundaciones.

La realización de estas mediciones se realiza a partir de imágenes obtenidas por un Radar de Apertura Sintética (SAR) que es un instrumento activo que trabaja en el rango de las microondas y que puede proveer información en forma independiente de las condiciones meteorológicas y de la hora del día.

Los dos satélites de la constelación SAOCOM (SAOCOM 1A y 1B) se encuentran en una órbita polar heliosincrónica a 620 km de altura, tienen cobertura global con períodos de revisita de aproximadamente 8 días para la constelación y cuentan con un instrumento SAR que opera en banda L polarimétrica de 1,275 GHz, que permite obtener imágenes de distintos lugares de la Tierra con una resolución espacial de entre 10 y 100 metros según el modo de adquisición y distintos ángulos de observación.

Como parte de los convenios de cooperación entre instituciones del Estado Nacional y a partir del contrato firmado en el marco de la Ley N° 23.877 de Innovación Tecnológica, entre la Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA) y la CONAE, la primera asumió la responsabilidad de proveer la estructura, los mecanismos de despliegue y los módulos radiantes de la antena del Instrumento SAR para los satélites del Proyecto SAOCOM. Esta responsabilidad comprende desde la ingeniería conceptual de la antena hasta la integración de la misma al satélite y la posterior asistencia a CONAE durante las campañas de ensayo y lanzamiento, pasando por las etapas de ingeniería básica y de detalle, el desarrollo y calificación de los métodos de fabricación empleando nuevos materiales, e incluyendo el desarrollo de los equipos y herramental necesario para las tareas de integración y ensayo.

2. Requerimientos

Los satélites del Proyecto SAOCOM son satélites de gran tamaño, con una masa de prácticamente 3000 kg y dimensiones de más de 4 metros de altura y más de 2,5 metros de diámetro en configuración de lanzamiento y la antena del instrumento SAR debe cumplir estrictos requerimientos mecánicos a fin de asegurar el adecuado funcionamiento del instrumento.

En los años en que se ha llevado a cabo la fase de desarrollo de este proyecto, CNEA conjuntamente con CONAE, consolidaron los principales requerimientos que debe cumplir el diseño mecánico de la Antena SAR, los que se pueden resumir en los siguientes párrafos:

- La Antena SAR debe presentar una configuración estructural que incluya un panel central fijo a la Plataforma de Servicio del satélite y dos conjuntos simétricos de tres paneles plegados. El conjunto en configuración plegada debe poder incluirse en un cilindro de un diámetro máximo de 3 metros.
- La Antena SAR debe sobrevivir al menos 5 años después del lanzamiento, en el medioambiente de la órbita terrestre, cumpliendo con la funcionalidad especificada.
- La masa total de la Antena SAR no debe superar los 1460 kg, incluyendo la totalidad de su estructura, los componentes electrónicos y los mecanismos de despliegue instalados en la misma.
- La primera frecuencia natural de vibración de la antena desplegada debe ser mayor a 2 Hz.
- La primera frecuencia natural de vibración de la antena plegada en dirección axial (la del lanzamiento) debe ser mayor a 44 Hz, mientras que en las direcciones laterales debe superar los 22 Hz.
- La superficie radiante de la antena desplegada será de aproximadamente 35 m² con casi 3,5 m de altura y 10 m de longitud.
- La estructura de la antena y sus componentes deben diseñarse para soportar, sin degradación de sus funciones y características, las cargas cuasiestáticas producidas por las aceleraciones que se producen durante el lanzamiento de aproximadamente 6 g en la dirección de lanzamiento y 2 g en dirección lateral en forma simultánea.
- Cada panel de la antena contiene 20 Módulos Radiantes que son los componentes encargados de emitir y recibir las señales de radiofrecuencia del instrumento. El tamaño de estos módulos es de aproximadamente 167 mm de ancho y 1400 mm de longitud.
- Las deformaciones de la antena en el espacio deben ser tales que, la planitud de la misma respecto de una superficie de referencia completamente plana y entre dos puntos cualesquiera de la antena, debe presentar un valor máximo de 0,024 m.

3. Diseño de la antena

Para cumplir con los requerimientos establecidos, se diseñó una estructura desplegable formada por 7 paneles, con el panel central fijo a la estructura del satélite y con dos conjuntos desplegables tres paneles en ambos lados del mismo y plegados en forma espiral, por lo que las dimensiones de los distintos paneles son diferentes a fin de permitir esta estrategia de plegado. Si se considera una estrategia de despliegue simultáneo de los conjuntos de paneles, la misma sería como se presenta en la Fig. 1.

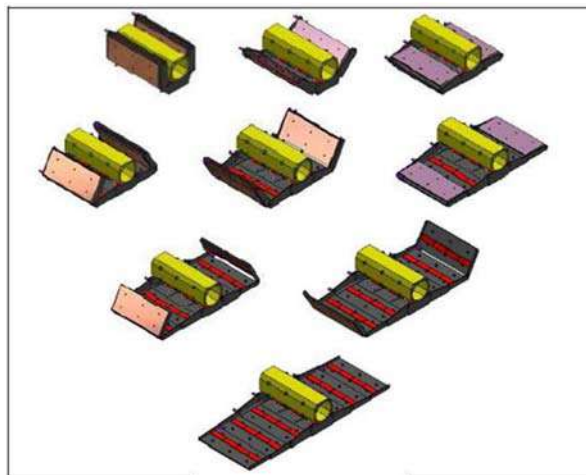


Fig. 1. Secuencia de despliegue de la Antena SAR.

El subsistema del Instrumento denominado Antena SAR está formado por 5 componentes principales:

- Los Módulos Radiantes que, en un total de 140, se encuentran montados sobre los paneles estructurales de la antena y cuya fabricación y diseño mecánico realizó CNEA (CONAE realizó el diseño de este componente para que cumpla con las características electromagnéticas requeridas).
- La estructura de la antena formada por los 7 paneles y la estructura que la vincula a la Plataforma de Servicio del satélite y los mecanismos de despliegue que la mantienen en configuración plegada durante el lanzamiento y permiten el despliegue de los paneles en órbita, todos componentes bajo responsabilidad de CNEA.
- La electrónica distribuida en los paneles del instrumento SAR y la electrónica que controla el despliegue de los paneles, cuyo desarrollo y fabricación realizó CONAE.
- El conjunto de cableado de radiofrecuencia, potencia y datos, distribuido en los paneles que realizó CONAE.
- El componente de control térmico, diseñado por CONAE y formado por blindajes térmicos, pinturas, termopares, radiadores y calefactores.

Las principales dimensiones de la antena plegada son de aproximadamente 4250 mm en el eje axial y de aproximadamente 2400 y 2055 mm en los ejes transversales. Cada conjunto de paneles plegados tiene un espesor máximo de más de 600 mm medidos sobre las vigas que forman los laterales de los paneles. La Fig. 2A y B presentan, respectivamente, las vistas superior y frontal de la antena en esta configuración.

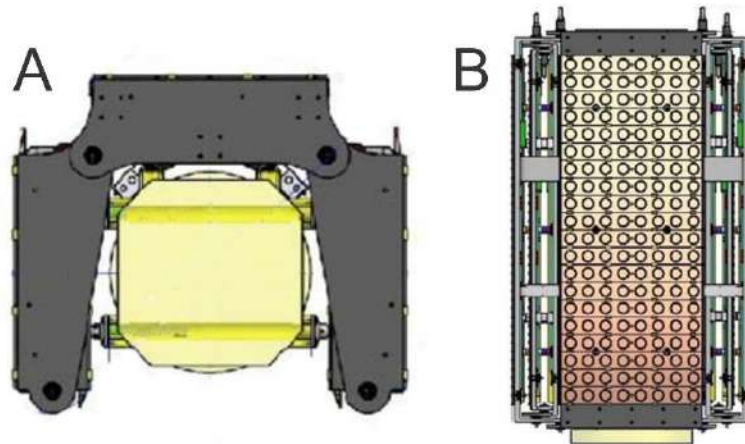


Fig. 2. A: Vista superior de la Antena SAR plegada. B: Vista frontal de la Antena SAR plegada.

En configuración desplegada las principales dimensiones de la antena son de casi 10 m de largo y 4 m de altura, mientras que la distancia desde el plano de la superficie radiante al plano de vinculación con la Plataforma de Servicio del satélite es de aproximadamente 600 mm. La Fig. 3 muestra el satélite en configuración de vuelo con la Antena SAR y los paneles solares desplegados, debiéndose señalar que la integración de las celdas fotovoltaicas en estos últimos también fue realizada por la CNEA.

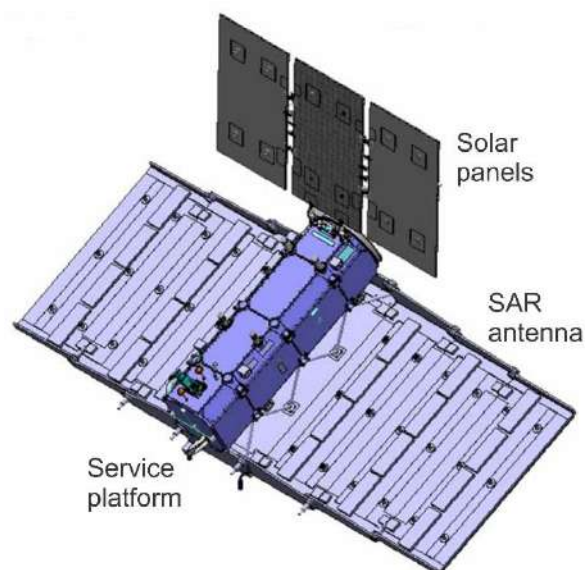


Fig. 3. Satélite SAOCOM en configuración de vuelo.

El diseño adoptado para la estructura de la antena minimiza el volumen ocupado por los paneles plegados, reduce la masa de los componentes estructurales y aumenta la confiabilidad del despliegue reduciendo al mínimo los posibles puntos de falla. Por otra parte, este diseño permite alcanzar los valores de rigidez necesarios sin el empleo de estructuras secundarias como las empleadas en numerosas estructuras espaciales de este tipo y también alcanza y mantiene en el tiempo los valores de planitud requeridos por la superficie radiante de la antena para que el instrumento opere con las características adecuadas.

3.1. Estructura

Los paneles estructurales de la antena están formados por los denominados Paneles Base, que soportan parte de los mecanismos, los Módulos Radiantes y todo el conjunto de electrónica se instala en la antena; y las Vigas Laterales, ubicadas en ambos extremos de los primeros y que tienen como función darle al conjunto desplegado la rigidez requerida y también dar soporte a parte de los mecanismos de despliegue.

Ambos elementos estructurales se fabrican como paneles de estructura sándwich con un núcleo de panal de abeja de aluminio y pieles realizadas con un laminado cuasi-isotrópico de cianatoéster y fibra de carbono unidireccional de alto módulo (CFRP). Estos elementos se pegan empleando refuerzos de CFRP para formar una única estructura de alta rigidez como se muestra en los esquemas de la Fig. 4A y B. Cabe señalar que los paneles están diseñados en función de alcanzar la rigidez requerida para obtener los valores de frecuencia natural de vibración y planitud de la antena desplegada, por lo que resultan márgenes de seguridad muy elevados frente a las cargas que soportan. El diseño y procesos de fabricación de estos paneles siguen los lineamientos de la normativa de la Agencia Espacial Europea (ESA).

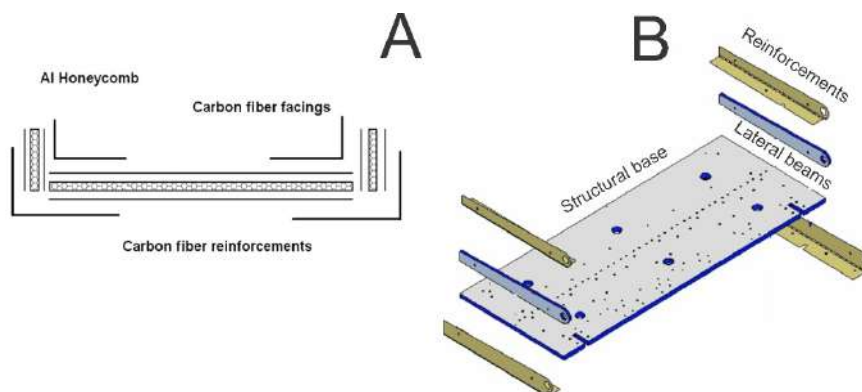


Fig. 4. A: Fabricación de los paneles estructurales, paneles sándwich y refuerzos de fibra de carbono; B: Fabricación de los paneles estructurales, partes componentes.

Los paneles luego son mecanizados, empleando una fresadora CNC, para poder instalar insertos metálicos mediante adhesivos, que permiten la fijación de cajas de electrónica, mecanismos y otros componentes sobre los mismos. Para cumplir estas funciones se diseñaron y fabricaron insertos metálicos de distintas características y tamaños, desde pequeños insertos de aleación de aluminio de 32 mm de altura y 8 mm de diámetro para el montaje de los Módulos Radiantes, hasta insertos de 280 mm de diámetro y 70 mm de altura realizados en aleación de titanio para la integración de los mecanismos de Retención-Liberación de los paneles de la antena o insertos de INVAR 36® destinados a permitir el montaje de los mecanismos de bisagra entre paneles, todos con recubrimientos superficiales adecuados a las distintas funciones que debían tener en cada caso.

Por otra parte, la Estructura de Interfaz que vincula el panel central con la Plataforma de Servicio del satélite, está formada por un reticulado de tubos laminados de CFRP de 0,8 mm de espesor con extremos rotulados fabricados en aleación de aluminio y pegados a los tubos, que impiden la transmisión de esfuerzos de flexión originados en cambios de temperatura entre ambos componentes principales del satélite. Como estos tubos trabajan solamente a la tracción o compresión, se eligió en este caso una configuración de laminado anisótropo de las fibras de carbono que maximiza la resistencia en la dirección del eje del tubo. La vinculación de los tubos a las estructuras principales se realiza empleando herrajes fabricados en aleación de Titanio. Un esquema general de esta estructura se presenta en la Fig. 5.

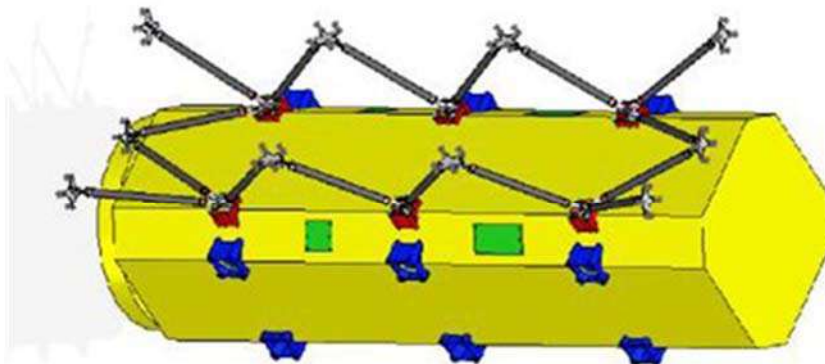


Fig. 5. Esquema de la estructura de interfaz.

3.2. Mecanismos de despliegue

En la configuración de lanzamiento, cada conjunto de paneles plegados se encuentra unido a 6 puntos de la estructura primaria de la Plataforma de Servicio mediante los denominados Mecanismos de Retención-Liberación. Esos puntos de vinculación y de transferencia de cargas entre ambas estructuras se muestran también en la Fig. 5.

Los Mecanismos de Retención-Liberación cumplen la función de mantener la posición de los paneles plegados, evitar golpes entre los mismos y transferir las cargas a la estructura de la Plataforma de Servicio durante el lanzamiento. Luego, con el satélite en órbita, el accionamiento de estos mecanismos permite liberar los paneles para ejecutar la maniobra de despliegue.

Estos mecanismos, cuyo esquema se presenta en la Fig. 6, están formados por un conjunto de piezas tubulares ubicadas en cada panel y sobre la Plataforma de Servicio, con secciones de unión de tipo copa y cono que transmiten las cargas y momentos flectores. La unión de las piezas se mantiene y permite la transmisión de cargas, mediante una barra precargada que se ubica en el interior de la sección tubular. En el extremo externo de la barra se ubica un dispositivo que soporta la precarga de la barra y cuando es accionado la libera, permitiendo la retracción de la misma mediante un juego de resortes y asegura así la posibilidad de desplegar los paneles.

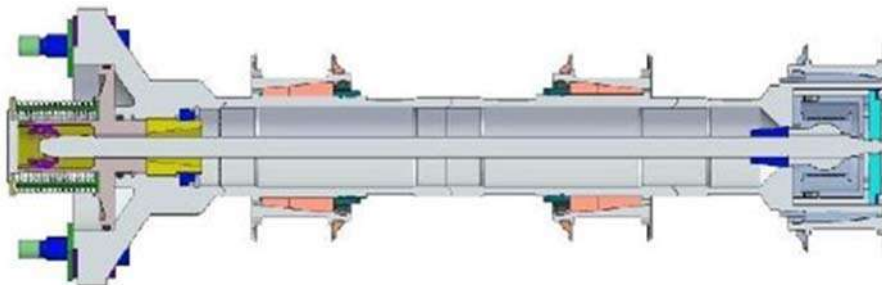


Fig. 6. Esquema del mecanismo de retención-liberación.

Todas las secciones de tubo, los insertos que las vinculan a los paneles y la barra de precarga están fabricadas en aleación de titanio, mientras que el conjunto de resortes es de acero inoxidable. Las superficies de contacto tipo copa y cono de las secciones de tubo, incorporaron un recubrimiento superficial para evitar eventos de soldadura en frío que se podrían producir por las condiciones de precarga y vacío que el mecanismo tenía que soportar en órbita antes de su accionamiento. El dispositivo de separación se muestra en la Fig. 7 y es una tuerca de separación electromecánica de la firma NEA Electronics Inc. (EEUU) con una capacidad de carga de hasta 148 KN.

Para realizar la operación de precarga, el mecanismo tiene dentro de la pieza ubicada sobre la Plataforma de Servicio, un pistón neumático vinculado al que se aplica presión mediante nitrógeno. Una vez aplicada la carga, la misma es mantenida mediante una tuerca que se ajusta sobre la barra.

Para facilitar las tareas de integración, tanto las secciones tubulares de los mecanismos como las piezas ubicadas sobre la Plataforma de Servicio del satélite, cuentan con dispositivos mecánicos que permiten la precisa alienación de las piezas, asegurándose de esa forma la adecuada transferencia, tanto de las precargas propias del mecanismo, como de las cargas que se generan durante el lanzamiento.

Una vez que los paneles se han liberado en órbita, el despliegue se realiza mediante actuadores rotacionales vinculados a Mecanismos de Bisagra ubicados en las vigas laterales de paneles adyacentes.

Se emplean para el despliegue 6 actuadores rotacionales, uno por cada etapa de despliegue. Estos actuadores deben proporcionar el par necesario para vencer la inercia del conjunto y la resistencia producida por la fricción en los mecanismos de bisagra, de traba y por los cables que pasan entre paneles. Para cumplir esta función se seleccionaron motoredutores paso a paso de corriente continua que tienen una capacidad de aproximadamente 100 Nm en las condiciones de operación previstas para el despliegue. Estos actuadores, que se muestran en la Fig. 8, fueron provistos por la empresa CDA Intercorp (EEUU).



Fig. 7. Dispositivo de liberación.



Fig. 8. Actuadores rotacionales.

Los actuadores de despliegue están vinculados a los Mecanismos de Bisagra mediante un acople elástico que permite absorber posibles desalineamientos entre ambos conjuntos, el cual está formado por dos piezas de aluminio de alta resistencia separadas por un elastómero apto para uso espacial (Hytrel ®).

Los Mecanismos de Bisagra permiten el despliegue de los paneles manteniendo la posición relativa de los mismos y soportan a los actuadores rotacionales. El diseño emplea un rodamiento esférico autolubricado (PTFE) y de bajo juego, apto para uso espacial suministrado por Ampep Ltd. (RU). Las piezas de estos mecanismos están fabricadas en aleación de Titanio, exceptuando los insertos que permiten la vinculación del mecanismo en los paneles, que están fabricados en INVAR 36 ® (aleación de Fe-Ni con bajo coeficiente de expansión térmica) para mantener la posición relativa entre paneles frente a cambios de temperatura.

La Fig. 9A y la Fig. 9B muestran una vista y un corte de uno de los Mecanismos de Bisagra que soportan los actuadores de despliegue, en donde también se puede ver el acople elástico que los vincula. Las únicas diferencias que presentan los Mecanismos de Bisagra sin actuador son, que los mismos permiten el desplazamiento axial para compensar diferencias de fabricación o integración y que poseen un potenciómetro de uso espacial que indica la posición angular de los paneles en el despliegue (Betatronix LLC, EEUU).

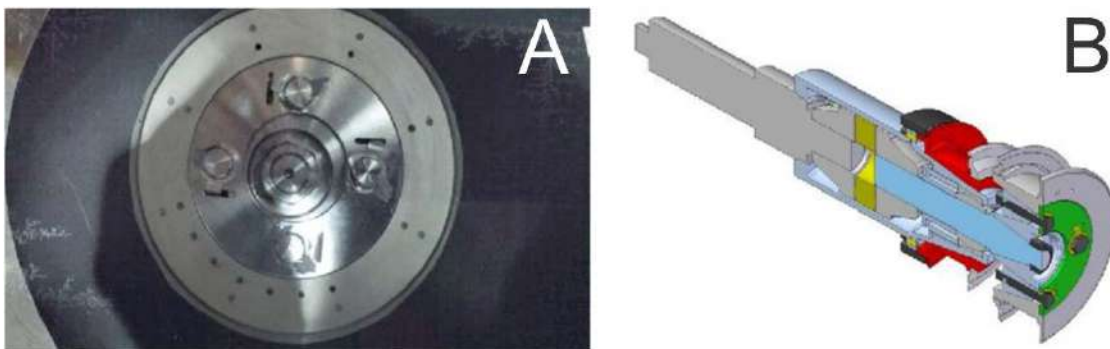


Fig. 9. A: Vista frontal del mecanismo de bisagra; B: Corte esquemático del mecanismo de bisagra.

Los Mecanismos de Bisagra también cuentan con un sistema de ajuste mecánico de la posición radial del eje del mecanismo, de forma de poder regular durante las tareas de integración de los paneles, la posición relativa entre los mismos y asegurar de esa forma tanto el adecuado funcionamiento de los mecanismos que fijan los paneles entre sí una vez que la antena se ha desplegado, como la planitud requerida para el conjunto de la superficie radiante de la antena.

La maniobra de despliegue de los paneles se completa con el accionamiento de los Mecanismos de Traba ubicados entre cada par de paneles adyacentes. Estos mecanismos fijan la posición relativa de los paneles y permiten que el conjunto de paneles desplegados alcance la rigidez requerida. Estos mecanismos incorporan sensores que indican el accionamiento y transmiten esa señal a Tierra durante el despliegue de los paneles, confirmando así el adecuado despliegue de los mismos.

La Fig. 10A y B presentan una vista y un esquema de estos mecanismos que están formados por una pieza denominada Base que se encuentra en el panel fijo y una pieza denominada Trinquete que se ubica en el panel móvil que se está desplegando. La traba del mecanismo se produce cuando una placa denominada Perno ubicada en la Base del mecanismo, cae dentro de la garganta que tiene el Trinquete al deslizarse éste último dentro de la Base. Para evitar distorsiones en la posición relativa de los paneles frente a cambios de temperatura, las piezas de estos mecanismos también están fabricadas en INVAR 36 ® y dada su complejidad, fueron realizadas mediante procesos de electro-erosionado.

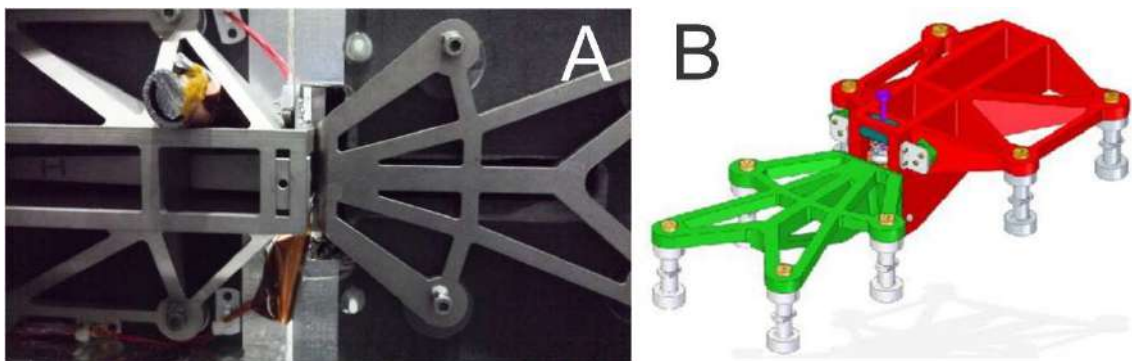


Fig. 10. A: Imagen del mecanismo de traba; B: Vista esquemática del mecanismo de traba.

Para reducir el torque resistivo que generan durante el despliegue de los paneles los mazos de cables que pasan de un panel a otro de la antena, se diseñaron soportes especiales, fabricados en aleación de aluminio, que guían los conjuntos de cables durante el despliegue. La Fig. 11A y 11B muestran un ejemplo de estos dispositivos, que presentan distintas formas y dimensiones según sea el par de paneles sobre los que deben trabajar dada la geometría de plegado en espiral del conjunto, y también dependiendo de la cantidad y tipo de cables que deben guiar.

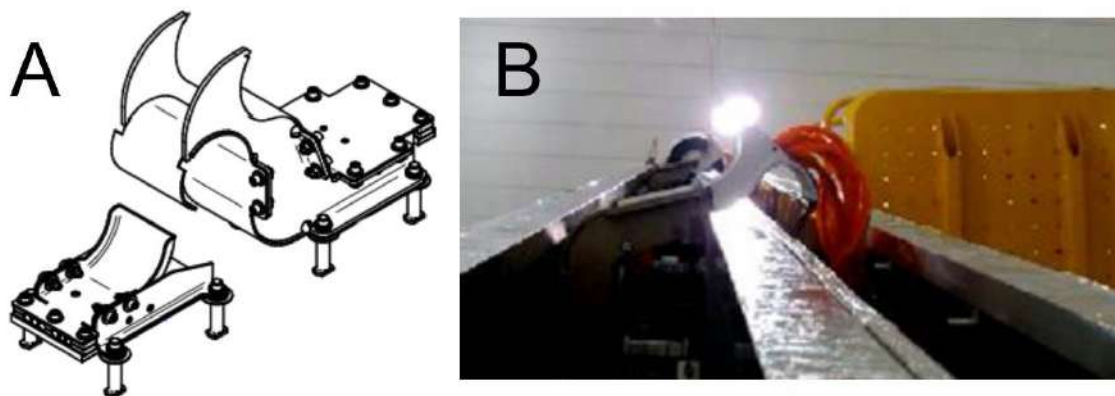


Fig 11. A: Esquema de un soporte guía de cables; B: Vista de un soporte guía de cables.

3.3. Módulos Radiantes

Los Módulos Radiantes que se fabricaron en CNEA están formados por un apilamiento de capas de de circuito impreso flexible (fibra de vidrio tipo E con un depósito de cobre electrolítico) intercaladas con una espuma dieléctrica. Las dimensiones del arreglo y la geometría que se le da a los circuitos impresos es lo que le confiere al conjunto las propiedades electromagnéticas requeridas. Las distintas capas no están pegadas entre sí, sino unidas a través de un conjunto de pines de cobre y para el soporte se les agrega unas guías laterales de fibra de vidrio que otorgan la rigidez necesaria al conjunto. Estos Módulos Radiantes se cubren además con una pintura blanca que actúa como parte del sistema de control térmico de la antena.

El soporte de los Módulos Radiantes a los paneles se hace mediante un conjunto de piezas de soporte fabricadas en aleación de aluminio y acero inoxidable que los fijan desde el centro geométrico y desde los laterales. Las fijaciones laterales permiten el deslizamiento de los módulos sobre unas guías de fibra de vidrio que forman sus laterales a fin de evitar deformaciones producidas por las diferencias entre los coeficientes de dilatación térmica de los Módulos Radiantes y los Paneles Estructurales. La Fig. 12A muestra un Módulo Radiante armado, antes del proceso de pintado y la Fig. 12B presenta un esquema de la ubicación y características de los soportes que los fijan a los paneles.

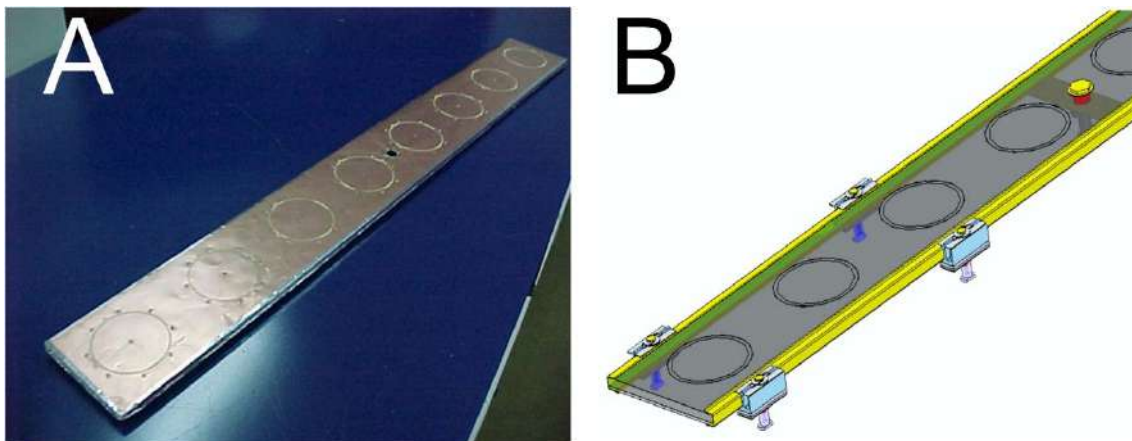


Fig. 12. A: Imagen de un Módulo Radiante; B. Esquema de los soportes de un Módulo Radiante.

4. Implementación del proyecto en CNEA

Para encarar este desafío de diseñar, fabricar y ensayar un sistema que tiene prácticamente 35 m² de superficie radiante, aproximadamente 1400 kg de masa y que emplea materiales de nueva tecnología, se formó en CNEA un

grupo interdisciplinario de personal con el aporte de distintos Departamentos, Gerencias y Gerencias de Área que se encuentran en el Centro Atómico Constituyentes, en el que llegaron a colaborar aproximadamente hasta 70 personas.

Desde el inicio de las actividades, estas fueron realizadas bajo un sistema de gestión de la calidad implementado para el Proyecto y acorde a los requerimientos de CONAE, que se basan en normas de las agencias espaciales NASA y ESA. Posteriormente se decidió complementar el mismo sistema de gestión con el cumplimiento de los estándares internacionales de la norma ISO 9001.2008, y finalmente se trabajó en la adaptación del sistema de gestión a los nuevos requisitos de la norma ISO 9001 emitida en septiembre del 2015.

En los años en que se llevó adelante este proyecto en CNEA, se completaron las fases de desarrollo y calificación que comprendieron diversas tareas que abarcan la ingeniería básica y de detalle de todos los conjuntos y partes, el desarrollo y calificación de los procesos de fabricación y la realización de los ensayos sobre los modelos de calificación, también fabricados e integrados en CNEA, debiéndose compatibilizar todo esto con el desarrollo de otros componentes de la antena que se encontraban a cargo de CONAE como es el caso del cableado, el sistema de control térmico y la electrónica del instrumento.

El desarrollo del proyecto en sus distintas fases incluyó un programa de auditorías internas periódicas realizadas por CNEA y distintas auditorías externas realizadas por CONAE. Además, la planificación del Proyecto SAOCOM definida por CONAE incluyó la participación de este proyecto de la Antena SAR en CNEA, en las distintas etapas de revisión como las PDR (Preliminar) y CDR (Crítica) con comités de revisión integrados por expertos de NASA, ESA y agencias espaciales de otros países.

Después de concluida la etapa de desarrollo de los procesos de manufactura, actualmente se cuenta con instalaciones para la fabricación de los componentes estructurales de la antena y la integración de los paneles, para la fabricación de los Módulos Radiantes (sala limpia clase 100 000 de 75 m³, cabina de pintura y procesos de soldadura calificados según normas ESA) y para la realización de distintos tratamientos sobre las superficies de piezas de sujeción de componentes y mecanismos de despliegue para que cumplan distintas funciones como conducción eléctrica, lubricación, barrera difusiva, anticorrosión, rugosidad para pegado estructural, etc. En este último aspecto, se debe destacar en particular el desarrollo, calificación y producción de recubrimientos multicapa de algunos micrones de espesor mediante técnicas de PVD (Physical Vapor Deposition). También se cuenta con la capacidad y equipamiento necesario para realizar ensayos de calificación de componentes y todos los ensayos asociados al control de los productos a lo largo del proceso

de fabricación, que van desde el control de los materiales hasta el del panel terminado.

Para el desarrollo y verificación de la ingeniería de los distintos componentes de la antena, se trabajó empleando software de diseño 3D con capacidad CAD-CAM para asistir en la fabricación de piezas y paneles, software de simulación dinámica para la evaluación del comportamiento de la estructura y los mecanismos durante el despliegue de los paneles y software de simulación por el método de elementos finitos para la evaluación del cumplimiento de los requerimientos y la simulación de ensayos ambientales de vibración (Fig. 13A y B).

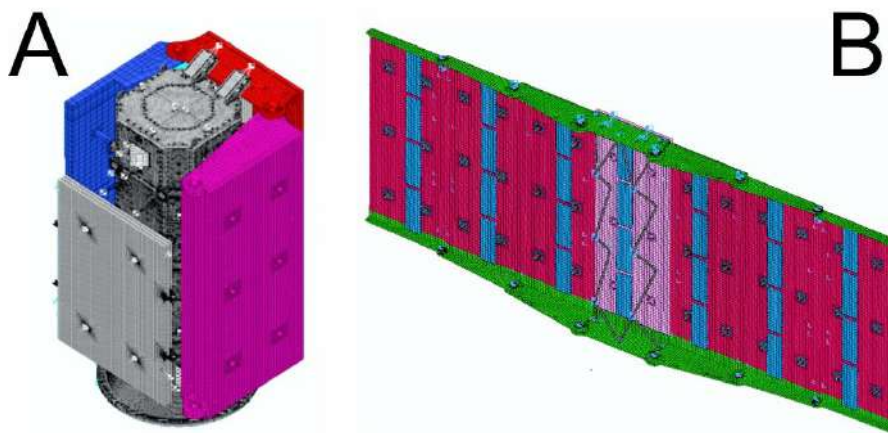


Fig. 13. A: Modelo de verificación de diseño por elementos finitos, configuración de lanzamiento; B: Modelo de verificación de diseño por elementos finitos, configuración de vuelo.

Para el proceso de polimerizado del preimpregnado de fibra de carbono que se emplea en la fabricación de los componentes estructurales se cuenta con una sala para la preparación de los laminados y con una autoclave que permite el curado de paneles de hasta 5 metros de longitud y 1,8 m de ancho que se muestran en la Fig. 14A y B.



Fig. 14. A: Elaboración de laminados de fibra de carbono; B: Autoclave para el proceso de polimerización.

El mecanizado de los paneles sándwich fabricados, para alcanzar las dimensiones finales y realizar los agujeros para la instalación de los insertos metálicos, se realiza empleando una fresadora tipo puente de grandes dimensiones, configurada especialmente para esta tarea, mientras que el para el mecanizado de insertos metálicos y partes de los mecanismos de despliegue se cuenta con equipos CNC convencionales. Ejemplos de este equipamiento se presentan en la Fig. 15 A y 15 B.



Fig. 15. A: Fresadora para el mecanizado de paneles; B: Equipo CNC para la fabricación de piezas metálicas.

Cabe señalar que tanto el autoclave para el polimerizado de materiales compuestos como la fresadora para el mecanizado de los paneles y los equipos auxiliares y herramienta asociados a los mismos, son equipos de fabricación nacional, realizados por la industria a partir de especificaciones detalladas generadas por el proyecto en CNEA.

Para realizar las tareas de integración, ensayo y acondicionamiento para el transporte (Fig. 16A, Fig. 16B) la instalación cuenta con una sala limpia Clase 100 000 (ISO 8) con un volumen de aproximadamente 490 m³.

Además del diseño y fabricación del equipamiento necesario para las tareas de integración y ensayo de los distintos componentes de la antena, se diseñaron y fabricaron contenedores para el transporte de los paneles estructurales y de los módulos radiantes que, de ser requerido, pueden emplearse con atmósfera inerte y además cuentan con sistemas de amortiguación que aseguran que los elementos transportados no sean sometidos a aceleraciones que puedan afectar sus características.

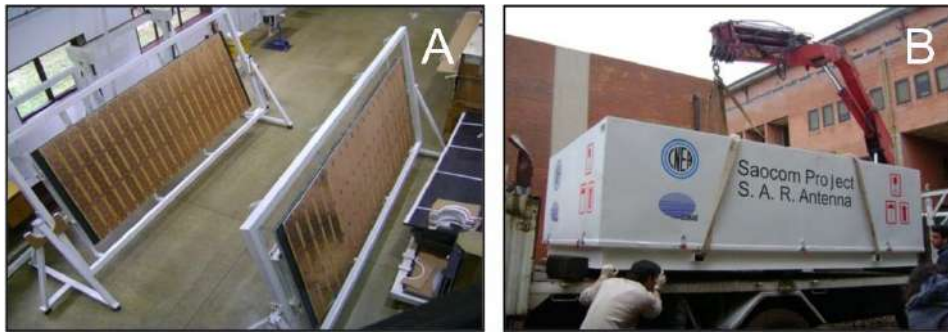


Fig. 16. A: Equipos de soporte para la integración de paneles; B: Contenedor de transporte.

En este área de trabajos, denominada Equipos Mecánicos de Soporte en Tierra (MGSE), una de las tareas de desarrollo más destacables fue el desarrollo conceptual, diseño, fabricación y calificación de un conjunto de dispositivos, denominados OG, que permiten simular las condiciones de falta de gravedad que tendrán los paneles de la antena durante las maniobras de despliegue en órbita, a fin de realizar en Tierra los ensayos de despliegue y asistir las tareas de integración del conjunto de la antena.

Estos dispositivos, que se presentan en la Fig. 17A y B, adoptaron el concepto de soportar el peso de los paneles durante el despliegue deslizándose sobre una superficie apropiada mediante el empleo de suspensiones neumáticas y un colchón de aire. Así, cada dispositivo estaba diseñado para transferir la sumatoria de cargas coaxialmente con la ubicación del centro de gravedad del panel de la antena y compensar no menos del 85% de la masa de cada panel, manteniendo esa compensación frente a cambios en la altura entre la superficie de deslizamiento y el panel que se desplegaba, producidos por ejemplo por las tolerancias propias en la ubicación de todos los equipos que intervienen en la maniobra (en la práctica se trabajó con variaciones menores al 5% de la masa de cada panel).

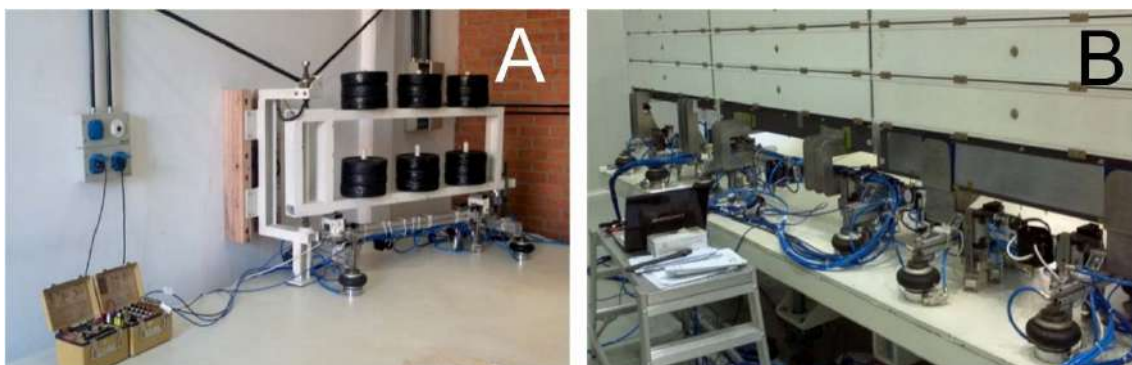


Fig. 17. A: Ensayos de calificación de los Dispositivos OG; B: Empleo de los Dispositivos OG para los ensayos de despliegue de los paneles de la Antena SAR en Tierra.

Cabe señalar que no existía experiencia previa en el país del empleo de dispositivos OG de este tipo y que la selección de esta tecnología frente a las previamente empleadas, se basó en que era necesario manejar la elevada masa de cada uno de los seis paneles desplegados individuales de la antena totalmente integrados que es de alrededor de 200 kg, frente a los 90 kg que por ejemplo debe manejar el dispositivo OG que se utilizó para ensayar el conjunto completo de paneles solares del satélite SAOCOM.

5. Etapa de calificación

Una vez confirmadas las características del lanzador que se seleccionó para la puesta en órbita de los satélites SAOCOM y congelado el diseño básico adoptado para la Antena SAR, se realizó el diseño de detalle y la fabricación en CNEA de los siguientes modelos de calificación:

- Un panel estructural para calificar los procesos de fabricación mediante ensayos ambientales de vibración y acústico, y para determinar las cargas de calificación a emplear a nivel de componentes como las cajas de electrónica (campana de ensayos realizada en el LIT-INPE de Brasil, Fig. 18).



Fig. 18. Modelo de panel estructural ensayado en el LIT-INPE durante los ensayos de vibración.

- Dos paneles de desarrollo para evaluar las características funcionales de radiofrecuencia del instrumento, que se muestran en la Fig. 16 al completarse su fabricación e integración en CNEA (ensayos realizados por CONAE en sus instalaciones del LIE-CETT).
- Un Modelo Estructural formado por un conjunto de tres paneles desplegados, un panel fijo central y la Estructura de Interfaz, para la calificación de la estructura y los mecanismos mediante ensayos ambientales de vibración y acústicos realizados conjuntamente con el Modelo Estructural de la Plataforma de Servicio. Para este modelo, se

diseñó y fabricó un mock-up de aleación de aluminio que reemplazó al otro conjunto de paneles desplegados de la antena, el que como requisitos debía mantener no solamente la misma geometría y puntos de vinculación sino también, las mismas características de inercia y rigidez que el modelo real. Esta campaña de ensayos también permitió verificar la ingeniería de detalle y calificar los procedimientos de integración y montaje de la antena, conjunto de tareas que se realizaron en las instalaciones de CNEA como se muestra en las Figs. 19A, B y 20A, B (campaña de ensayos realizada en CEATSA-INVAP, Fig. 21A y B).



Fig. 19. A: Integración en CNEA del Modelo Estructural de la Antena SAR; B: Integración en CNEA del Modelo Estructural de la Antena SAR.

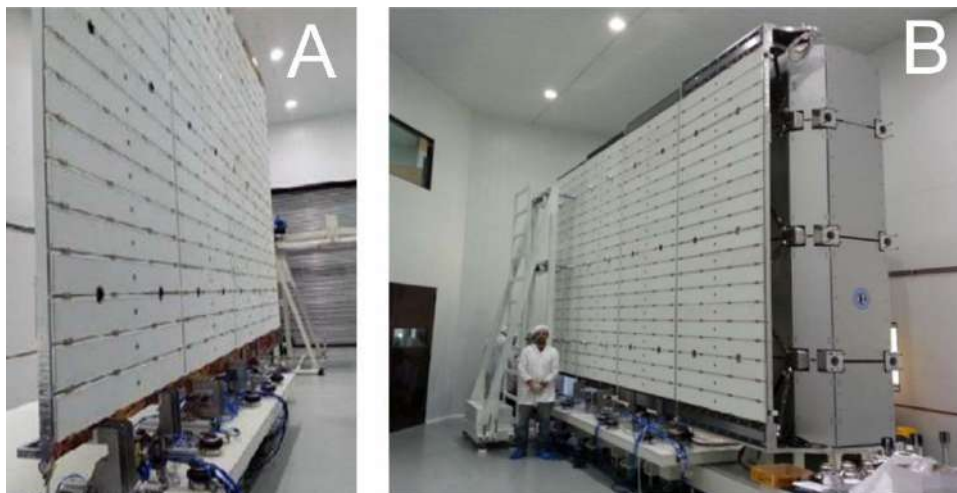


Fig. 20. A: Modelo Estructural de la Antena SAR en CNEA; B: Modelo Estructural de la Antena SAR en CNEA.

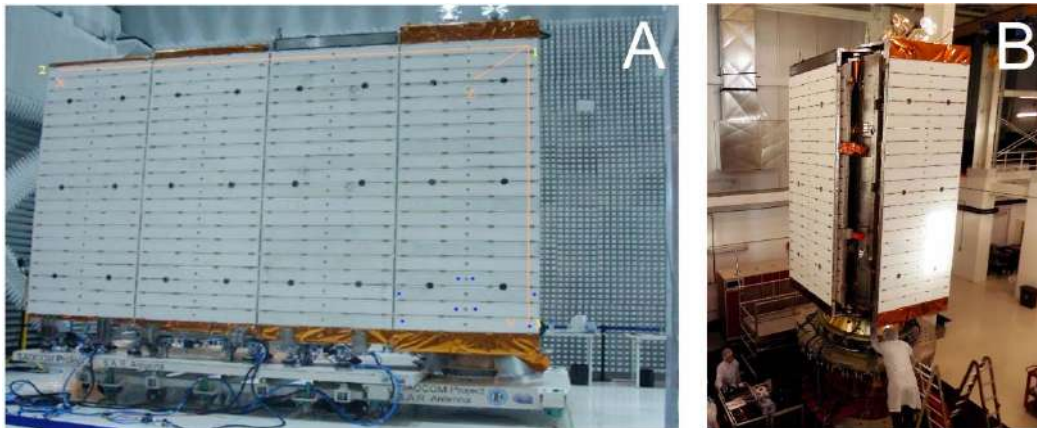


Fig. 21. A: El Modelo Estructural de la antena SAR durante los ensayos de despliegue de la campaña de calificación; B: El Modelo Estructural de la antena SAR durante los ensayos de vibraciones de la campaña de calificación.

- Un modelo ad-hoc, denominado Modelo de Calificación de Mecanismos, para calificar el diseño y funcionalidad del conjunto de los mecanismos de despliegue de la antena mediante ensayos ambientales de vibración y de ciclado térmico en vacío (campaña de ensayos realizada en el LIE-CETT de CONAE). El diseño de este modelo permitió realizar la actuación completa del conjunto de mecanismos que intervienen en el despliegue de los paneles de la antena SAR en condiciones de temperatura y vacío similares a las que se tienen en la órbita terrestre, pudiéndose de esa forma verificar el adecuado funcionamiento y performance de todos los mecanismos en esas particulares condiciones.
- Varios modelos de Módulos Radiantes para calificar el diseño mecánico y funcional mediante ensayos ambientales de vibración y ciclado térmico en vacío (campaña de ensayos realizada en CNEA y en el LIE-CETT de CONAE).
- Dos modelos térmicos (medio panel y un panel completo de la antena), que se emplearon para verificar los modelos matemáticos que definen el sistema de control térmico de la antena, mediante ensayos en cámara de termovacío y en un simulador solar, también en condición de vacío (campañas de ensayo realizadas por CONAE en el LIE-CETT y en la ESA, Alemania).
- Un panel estructural para el denominado Modelo de Ingeniería de la Antena SAR, destinado a la calificación funcional del Instrumento SAR (campañas de ensayo realizadas por CONAE en INVAP).

6. Modelos de Vuelo

Una vez completada la fase de calificación con la verificación experimental de todos los parámetros del diseño, se inició la fabricación de

las antenas para los modelos de vuelo del satélite, cuya integración se realizó en las instalaciones de CONAE en la Provincia de Córdoba. CNEA completó la entrega de las partes correspondientes a ambos modelos de vuelo de la antena, debiéndose considerar que la provisión prevista comprende los siguientes componentes:

- 14 Paneles Estructurales completamente integrados.
- 2 Estructuras de Interfaz con la Plataforma de Servicio del satélite.
- 24 Mecanismos de Retención-Liberación.
- 24 Mecanismos de Bisagras.
- 24 Mecanismos de Traba.
- 36 Dispositivos de Guía de Cables entre paneles y Placas de conexionado.
- 300 Módulos Radiantes.

Además de estos componentes de las antenas propiamente dichas, CNEA entregó todo el conjunto de equipos de soporte en tierra fabricado para permitir la integración y ensayo de ambas antenas, incluyendo nueve dispositivos OG que permitieron realizar estas operaciones sobre tres conjuntos de paneles desplegables en forma simultánea.

Personal de CNEA, conjuntamente con personal de CONAE e INVAP, participo de las operaciones de integración y ensayo de las antenas en la Provincia de Córdoba y luego de las tareas de integración de las antenas a las Plataformas de Servicio de los satélites en las instalaciones de INVAP, empleando los procedimientos desarrollados oportunamente en CNEA.

Posteriormente a estas tareas, se participó en la realización de los ensayos de aceptación de ambos satélites, en los que CNEA debió evaluar el comportamiento de la estructura de las antenas durante los ensayos ambientales de vibración y acústicos realizados en las instalaciones de INVAP y también evaluar el funcionamiento de los mecanismos durante los ensayos despliegue realizados después de someter a los satélites a cargas similares a las que debían soportar durante el lanzamiento. Las Figs. 22 y 23 muestran respectivamente las vistas anterior y posterior de uno de los satélites con las antenas SAR desplegadas después de uno de estos ensayos de funcionamiento de los mecanismos de despliegue, en las que se puede apreciar la distribución de los Dispositivos OG entre los paneles de la antena y las plataformas de despliegue, mientras que la Fig. 24 presenta al satélite completo con la antena SAR en configuración plegada o configuración de lanzamiento.



Fig. 22. Vista anterior de uno de los satélites con la antena SAR desplegada.



Fig. 23. Vista posterior de uno de los satélites con la antena SAR desplegada.



Fig. 24. Satélite con la antena SAR plegada en configuración de lanzamiento.

Es satélite SAOCOM 1A fue lanzado el 7 de Octubre de 2018 desde AFB Vandenberg en California, EEUU, mientras que el satélite SAOCOM 1B fue lanzado el 30 de agosto de 2021 desde AFB Cabo Cañaveral, Florida, EEUU. En ambos casos se empleó un lanzador Falcon 9 Block 5 de la empresa Space Exploration Technologies Corp. Algunas horas después del lanzamiento, se enviaron desde Tierra los comandos que activaron la secuencia de despliegue de las antenas, completándose las mismas en forma nominal sin ningún tipo de inconvenientes.

6. Conclusiones

El Proyecto Antena Radar de Apertura Sintética significó incorporar a CNEA la capacidad para el desarrollo, diseño, calificación y fabricación de sistemas y componentes para su empleo en satélites, siguiendo los lineamientos establecidos por la normativa internacional vigente.

El Proyecto Antena Radar de Apertura Sintética permitió desarrollar en CNEA los procesos de caracterización y manufactura de componentes empleando materiales compuestos avanzados, tecnologías con cada vez mayor

aplicación en distintas ramas de la ingeniería, incluyendo el sector nuclear, por lo que los conocimientos y experiencias adquiridas en el desarrollo de este proyecto resultan aplicables en otros proyectos y actividades de CNEA.

La etapa de calificación del Proyecto ha validado el diseño adoptado y los procesos de fabricación e integración desarrollados en CNEA para la Antena del Instrumento SAR del Proyecto SAOCOM de CONAE.

El lanzamiento de ambos satélites SAOCOM y el exitoso despliegue de las Antenas SAR, avalan la capacidad de CNEA para suministrar productos innovadores en sectores de alta tecnología.

Agradecimientos

A la Academia Nacional de Ciencias Exactas Físicas y Naturales por haber considerado el trabajo realizado en este proyecto merecedor de la distinción a la Innovación Tecnológica del año 2020.

A las distintas autoridades de la Comisión Nacional de Energía Atómica por el apoyo brindado a este proyecto, desde el necesario aprendizaje de sus inicios, a lo largo de todos los años de su desarrollo y hasta su conclusión con el despliegue de las antenas de ambos satélites.

A la gente de la Comisión Nacional de Actividades Espaciales, en particular al Dr. Conrado Varotto, por haber confiado en este grupo de gente de la CNEA para llevar adelante este desafío.



GEOLOGÍA DE CHILE, MIRANDO AL SUDESTE*

Francisco Hervé Allamand

Universidad Andrés Bello, Carrera de Geología, Facultad de Ingeniería,
República 252, Santiago, Chile; Departamento de Geología, Universidad de
Chile, Casilla 13518 Correo 21, Santiago, Chile
E-mail: fherve@ing.uchile.cl

* Trabajo presentado por F. Hervé Allamand en oportunidad de su
incorporación como Académico Correspondiente de la ANCEFNA (16 de abril
de 2021) (<https://www.youtube.com/watch?v=kVRLuGge9K8>)

Palabras clave

Exploración
antártica
Influencia
argentina
Historia
Programas de
colaboración

Keywords

Antarctic
exploration
Argentine influence
History
Collaborative
programs

Resumen Se presenta un relato histórico de las acciones de colaboración entre el autor y diversos científicos argentinos desde 1963. Ello incluye la participación en múltiples congresos y reuniones nacionales e internacionales, así como trabajos conjuntos en terreno, que permitieron un número abundante de publicaciones en coautoría. En la actualidad un grupo internacional estudia el Macizo nordpatagónico y los Andes patagónicos septentrionales, cuyos principales resultados se esbozan en la sección final.

Abstract Geology of Chile, looking to the southeast
A historical report of the collaborative actions between the author and various Argentine scientists since 1963 is presented. This includes participation in multiple national and international congresses and meetings, as well as joint field work, which allowed a large number of co-authored publications. As part of an international group we are currently studying the Northern Patagonian Massif and the North-Patagonian Andes, the main results of which are outlined in the final section.

1. Instancias de colaboración científica

Desde la realización de mi memoria de Título de Geólogo en la Antártica en 1964, he sido influenciado por trabajos de científicos argentinos, en este caso por múltiples publicaciones en las Islas Shetland del Sur realizadas con anterioridad.

Luego, y después de mi vuelta de Francia donde hice mi doctorado estudiando rocas metamórficas, me encontré en el departamento de Geología de la Universidad de Chile con Don Félix González-Bonorino, famoso geólogo argentino que había sido expulsado de su país, y acogido junto a un numeroso grupo de profesores de la Universidad de Buenos Aires en la Universidad de Chile. Don Félix publicó en 1970 el primer estudio sistemático del basamento ígneo y metamórfico de la Cordillera de la Costa de Chile Central. Estableció que allí existían tres series metamórficas, que denominó Curepto, Pichilemu y Nirivilo, con rocas de diferente estructura y metamorfismo. Al dejar Chile, comentó que en el estudio de las rocas metamórficas “...había mucho paño que cortar”.

Una modificación de su esquema original al de Serie Occidental y Serie Oriental, persiste en su uso hasta la actualidad (Fig. 1). Recibe interpretaciones en términos de modo de acreción, frontal para la Serie Oriental y basal para la Serie Occidental, en un prisma de acreción fósil generado en el margen de Gondwana durante el Paleozoico superior.

La asistencia al Congreso sobre el Manto Superior en Buenos Aires en 1970, y luego al Congreso Geológico Argentino en Neuquén en 1975, permitieron los primeros contactos con geólogos argentinos, e impulsaron a la creación de los Congresos Geológicos chilenos a partir de 1976. Estos eventos se han sucedido regularmente hasta la actualidad, perturbados por la actual pandemia. Las Actas de ambos constituyen un acervo geológico de gran extensión y calidad.

En la década de 1970 surgió el Programa Internacional de Correlación Geológica bajo el alero de IUGS (*International Union of Geological Sciences*) y de UNESCO, que durante las décadas siguientes, y hasta la actualidad, ha permitido la interacción entre geólogos chilenos y argentinos, y por supuesto también de otros países de Sudamérica. Con posterioridad se fueron creando programas diversos que resultaron en múltiples ocasiones, unas 80 en total, de congresos, reuniones, simposios, transectas, talleres, etc., en los que se establecieron lazos de cooperación y amistad con geólogos argentinos. Entre éstos merecen ser destacados los siguientes:

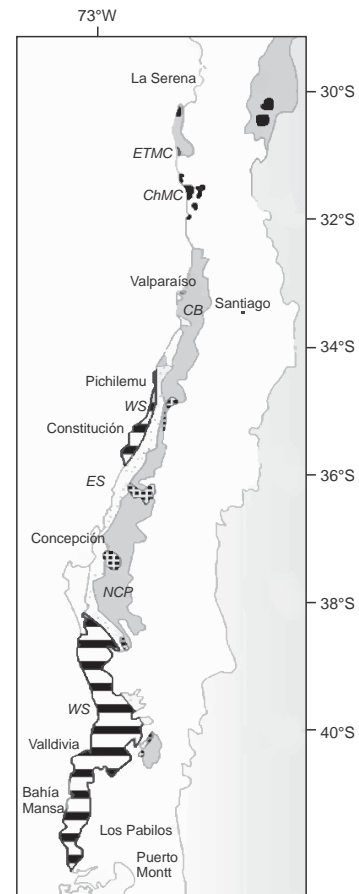


Fig. 1. Mapa esquemático con la distribución de las rocas del Paleozoico superior en la Cordillera de la Costa de Chile Central: series Oriental y Occidental y el batolito costero. De Hervé et al. (2007).

Congreso Internacional del Manto Superior (1970)
 Congresos Geológicos Argentinos
 Congresos Geológicos Chilenos
 Congresos Latinoamericanos de Geología
 Reuniones de diversos Proyectos PICG (Programa Internacional de Correlación Geológica)
 SSAGI Simposio Sudamericano de Geología Isotópica
 ISAG International Symposium on Andean Geodynamics
 Reuniones de la Comisión de la Carta Geológica del Mundo CCGM-UNESCO
 Congresos Mundiales de Geología
 Conferencias Penrose
 Simposios de temas especializados
 Terrane Conferences
 International Lateinamerika-Kolloquium
 Congresos SCAR Scientific Committee on Antarctic Research
 ISAES International Symposium on Antarctic Earth Sciences
 Open Science Conferences de SCAR
 Reuniones Antárticas Latinoamericanas

Muchos de estos eventos incluyeron salidas a terreno, y además se realizaron diversas campañas de investigación en el campo, financiadas por CONICYT y CONICET, a la Patagonia marítima e insular en Chile, y a la Patagonia argentina. Todo ello ha redundado en publicaciones conjuntas con más de 30 investigadores argentinos, siempre en la más completa armonía. La Revista Geológica de Chile, hoy *Andean Geology*, ha visto incrementarse en el tiempo la participación de autores argentinos en los trabajos publicados, hasta ser predominantes en la actualidad (Fig. 2).

En la actualidad, el Proyecto Fondecyt 1180457 “*The accretion of Chaitenia terrane: age, lithologies and tectonic environment*” está estudiando el tema en el Macizo y Cordillera norpatagónicas, donde se ha podido establecer

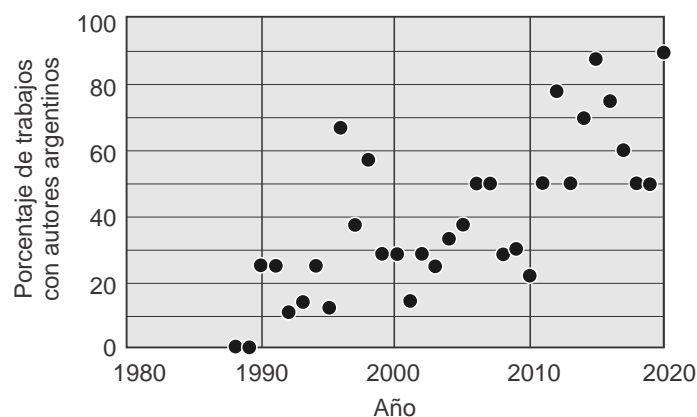


Fig. 2. Porcentaje de trabajos con autores/coautores argentinos en la Revista Geológica de Chile (*Andean Geology*) desde 1980.

la presencia de dos arcos magmáticos devónicos, uno instalado en la corteza continental del Macizo, y el otro de carácter oceánico situado más al oeste, que denominamos Chaitenia (Fig. 3), que habría colisionado con Gondwana en el Carbonífero. Los resultados más recientes y completos respecto a este tema están en Rapela et al. (2021), publicado en *Gondwana Research*.

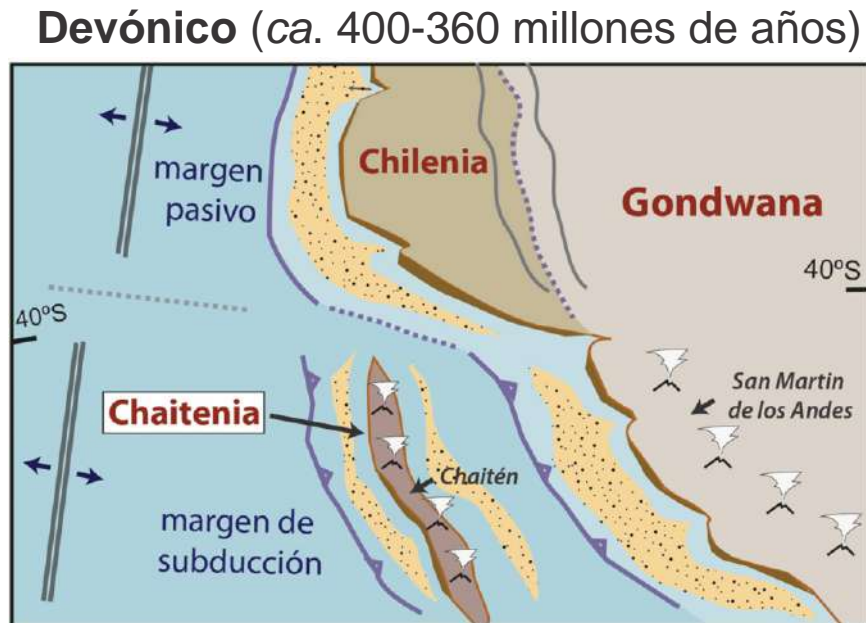


Fig. 3. Reconstrucción paleogeográfica del margen sudoeste de Gondwana en el Devónico a la latitud 40°S.

Referencias

- Hervé F, Faundez V, Calderón M, Massone H-J, Willner AP (2007) Metamorphic and plutonic basement complexes. En: Moreno T, Gibbons W (eds.) *The Geology of Chile*, Geological Society Special Publication, London (UK), pp. 5-19.
- Rapela CW, Hervé F, Pankhurst RJ, Calderón M, Fanning CM, Quezada P, Poblete F, Palape C, Reyes T (2021) The Devonian accretionary orogen of the North Patagonian Cordillera. *Gondwana Research*, 96:1-21.



21 AÑOS DE EXPERIENCIA DE UN FÍSICO TEÓRICO EN LA INDUSTRIA ARGENTINA*

Alberto Pignotti

FUDETEC, Centro de Investigación Industrial, L. Alem 1067, 1001 Buenos Aires, Argentina (Fallecido 1 de junio de 2021)

* Texto de la conferencia pronunciada en julio de 1996 en Belo Horizonte, Brasil, en ocasión de la "2nd. Conference on Physics and Industrial Development", gentilmente traducido por Gabriela y Carmen Pignotti, que decidimos dar a conocer por la vigencia actual de sus conceptos.

Palabras clave

Industria
Acero
Ciencia aplicada

Resumen Luego de haber investigado las partículas de la física en Argentina y en Estados Unidos durante más de una década, el autor ha trabajado durante 21 años para una de las principales empresas de ingeniería y acero en Argentina. Esta presentación se centrará en su experiencia industrial: cómo comenzó, los intentos por adaptar sus capacidades profesionales a las necesidades de la industria y la creación de un Centro de Investigación Industrial. Se describirá la organización actual de este Centro, y se analizarán las razones de sus logros y limitaciones. Asimismo, se establecerá una diferencia entre el enfoque ingenieril, basado en el "know-how", y el "know-why" del enfoque científico. Se abordarán algunos temas relacionados, como la medición del éxito en la investigación industrial y las circunstancias especiales de trabajar en un país en desarrollo.

Keywords

Industry
Steel
Applied science

Abstract 21 years of experience of a theoretical physicist in the Argentine industry. After having been involved in research on particle physics in Argentina and in the USA for over a decade, the author has worked for 21 years for a major Argentine engineering & steel company. This overview is centered on his experience with the industry: its beginnings, the attempts at adapting its professional capabilities to industrial requirements, and the creation of an Industrial Research Center. It describes the organization of this Center, and the reasons behind its successes and its limitations. It also discusses differences between the engineering know-how, and the scientific

know-why outlooks. In addition, several related issues are analyzed, including the assessments of success in industrial research, as well as the particular settings associated with working in a developing nation. slation performed by the later USA president Herbert C. Hoover and his wife Lou Henry Hoover. Finally, the impact of this and other similar works not only on the development of mining and metallurgy, but also on chemical sciences in general, is analyzed.

1. Introducción

Me gustaría comenzar esta presentación aclarando que me basaré en mi experiencia personal, luego de haber trabajado durante más de 10 años en investigación de aspectos básicos en universidades americanas y argentinas, y el doble de años en investigación aplicada y otras actividades en la industria privada en Argentina. Otros participantes podrán haber tenido experiencias distintas y podrán tener otros puntos de vista, y espero que así lo hagan, porque uno de los motivos por los que estamos hoy aquí reunidos es para intercambiar puntos de vista y enriquecer nuestras perspectivas recíprocamente.

A la hora de abordar el tema de la física y el desarrollo industrial es fundamental considerar el hecho de que la cantidad y la calidad de la investigación aplicada en los países en vías de desarrollo no se corresponde con los niveles alcanzados en la ciencia básica. Incluso existe un pequeño estigma, como si se diera a entender que nadie se dedica a la ciencia aplicada si es lo suficientemente bueno para trabajar en la ciencia básica. Esta situación es triste, pero debemos encararla y empezar a entender por qué es así. Sólo podremos intentar encontrar formas y políticas para revertir esta situación una vez que la hayamos comprendido.

2. La investigación aplicada y el mercado

Se pueden encontrar varias explicaciones de por qué la investigación aplicada queda detrás de la investigación básica en los países en desarrollo. No hay dudas de que la ciencia aplicada tiene menos glamour. Y los problemas no son tan claros. Por un lado, suelen implicar distintas disciplinas, añadiendo una nueva dimensión a las dificultades que hay que afrontar. Existen características no tan agradables, como la fricción, la turbulencia, las impurezas o las propiedades desconocidas de los materiales. Pero, en definitiva, muchas de ellas son cuestiones técnicas que están presentes tanto en los países desarrollados como en los países en desarrollo. Dicho esto, creo que la gran diferencia entre el mundo desarrollado y el que está en vías de desarrollo es que la ciencia aplicada tiene que estar inevitablemente vinculada con el sector productivo. Como resultado, la ciencia aplicada necesita un mercado, y es ahí donde nos quedamos atrás. Independientemente de lo brillante que sea el investigador y de lo imaginativas que resulten sus

soluciones técnicas, si la ciencia aplicada no está impulsada por las demandas del mercado y la economía, permanece en el plano académico. Por ello, el ya difunto Jorge Sábato, pionero de la ciencia aplicada en Argentina, sostenía que el organismo gubernamental encargado del avance de la tecnología no debería ser el Ministerio de Educación, sino el de Economía. Se puede discutir, tal vez, que condicionar la ciencia aplicada sólo a un mercado existente es contraproducente, que no se puede esperar una amortización inmediata y que se pueden desarrollar nuevos mercados.

3. La Argentina de hoy

Es evidente que hoy en día en Argentina el Estado se ha quedado sin recursos, y que el gobierno quiere eliminar todos los subsidios e incluso la participación estatal en la mayor cantidad posible de actividades que puedan ser realizadas por organismos privados. En este contexto, incluso el apoyo estatal a la ciencia básica está disminuyendo, y esto es muy alarmante. Y el apoyo a la ciencia aplicada debe provenir inevitablemente del sector productivo, en el que la participación del Estado es cada vez menor.

Al mismo tiempo, hay una marcada tendencia a abrir la economía a la competencia del mercado exterior. Los fabricantes locales ya no pueden esperar un mercado protegido y, por ello, tienen o al menos deberían tener, una fuerte motivación para alcanzar estándares internacionales de calidad y competitividad. Esto implica grandes cambios estructurales y la adopción de un nuevo enfoque de fabricación: uno que se base no sólo en el *know-how* (“saber cómo”) (es decir, en una receta, cuyo fundamento es irrelevante, siempre que la receta funcione), sino en el *know-why* (“saber por qué”). Aquí aparece una motivación básica para la investigación aplicada: hay que entender las leyes físicas que rigen el comportamiento de un proceso de fabricación, y la relación entre este proceso y la calidad del producto, para poder ajustarse a las nuevas y mayores exigencias del mercado, y hacer que el proceso de fabricación sea más rentable y, por ende, más competitivo.

4. Experiencia personal: primeros intentos

A continuación, voy a ilustrar estas afirmaciones con algunos ejemplos tomados de mi experiencia personal. Luego de haber trabajado durante muchos años como físicos teóricos de partículas elementales y forzados por circunstancias externas, junto con un colega cambiamos de la noche a la mañana del mundo académico a una de las principales empresas industriales de Argentina. Las principales áreas de esta empresa son la ingeniería, en la comenzamos a trabajar, y la industria del acero.

4.1. Ingeniería estructural

Debido a que en ese momento la empresa se dedicaba a la construcción de dos enormes puentes sobre dos ramales del río Paraná, por primera vez nos encontramos ante problemas de pandeo y elasticidad que aparecieron al diseñar algunas placas de acero en la estructura del puente. Debido a las grandes cargas utilizadas, estos problemas no se ajustaban a las tablas del manual de ingeniería, por lo que no sólo había que saber cómo consultar las tablas, sino también cómo habían sido creadas, para poder aplicar los resultados al caso en cuestión. Dicho sea de paso, este es un claro ejemplo de la diferencia entre el saber hacer y el saber por qué. Por supuesto, empezamos sin tener la menor idea de cómo se habían hecho las tablas. Voy a confesarles, pidiéndoles disculpas a los ingenieros de estructuras que hoy estén en el público, si es que hay alguno, que ni siquiera sabíamos lo que significaba la palabra "pandeo". Para que todos los colegas de la sala que comparten mi antigua ignorancia se queden tranquilos, les voy a explicar el concepto de pandeo.

Si se aplica una pequeña compresión a una viga recta, se mantiene en equilibrio estable, lo que significa que, si se aplica una pequeña perturbación elástica, vuelve a la configuración de equilibrio recto. Sin embargo, si se aumenta la fuerza de compresión, se llega a un punto en el cual el equilibrio se vuelve inestable. Y si se aplica la misma ligera perturbación elástica, el sistema no vuelve a la posición recta. Bueno, no tardamos mucho en descubrir que el pandeo es un problema de valores propios, y, porque los valores propios, como todos ustedes saben, son propios de la mecánica cuántica, pudimos resolver el problema del puente con técnicas de mecánica cuántica. Este fue mi primer encuentro con la ciencia aplicada, pero lo que más nos sorprendió fue descubrir que antes de que se nos presentara el problema, ya había sido "resuelto" por el ingeniero de diseño, aplicando un factor de seguridad de dos, sobre la base de una sólida solución de ingeniería. En 20 años no se construyeron puentes similares en Argentina (me refiero a puentes con ferrocarril y de 300 metros entre pilares). Todo esto me permite ilustrar mi referencia anterior al mercado: para nuestra empresa, no tenía sentido desarrollar expertos en diseño de puentes básicos para un mercado de un puente cada 20 años. Lo que la empresa suele hacer cuando aparece un asunto así es contratar a un consultor extranjero de alto nivel, con experiencia en ese campo específico. Este es un enfoque lógico, y tratar de luchar contra él es una batalla perdida, excepto si la aparición de un mercado común cambia la escala del mercado al que tenemos acceso.

4.2. La computadora como una herramienta de ingeniería

Luego de haber superado esta primera experiencia, el curso de los acontecimientos me llevó a problemas que no resultaban tanto de índole científica, sino a los aspectos básicos del diseño de la ingeniería de una forma más moderna y por medio de la computadora. Esto duró algunos años, y para mí fue muy gratificante porque sentí que estaba haciendo algo útil, y que estaba utilizando algunas habilidades personales. Era una actividad legítima, y muchos físicos han conseguido desarrollarse trasladando su habilidad para

usar las computadoras a otros campos. Sin embargo, hoy no queremos centrar la ponencia en este tipo de efecto secundario de la física, por lo que no me extenderé más en este punto.

4.3. Diseño básico del intercambiador de calor

Un tiempo después, por razones circunstanciales, comencé a trabajar en el campo del diseño básico de los intercambiadores de calor. En este ámbito, volví a poner en práctica mis conocimientos de física teórica, y fui capaz de generar una serie de resultados originales, basados principalmente en las similitudes entre un proceso de intercambio de calor y la dispersión de partículas elementales. (Si alguien del público duda de que el rendimiento del radiador de su auto está íntimamente relacionado con la dispersión de piones en protones, voy a estar encantado de demostrarle que está equivocado, pero no discutamos aquí esos detalles técnicos). Con el tiempo me convertí en un experto en el campo del diseño básico de los intercambiadores de calor, sobre el que publiqué varios artículos en publicaciones internacionales, tras algunas dificultades iniciales con los jueces. Incluso fui invitado como exponente principal a la 8ª Conferencia Internacional de Transferencia de Calor de San Francisco de 1986, y fui el único orador de América Latina. Así que esto parece un claro ejemplo de fertilización cruzada entre disciplinas muy diferentes, y de un exitoso programa de investigación aplicada en América Latina. ¿Es éste el tipo de investigación que deberíamos promover?

Sinceramente, no. Lo que falló en este trabajo fue que, cuando me convertí en un experto en la materia, el tema se había vuelto tan especializado que era totalmente irrelevante para mi empresa. No se diseñó ni un solo intercambiador de calor en Argentina utilizando lo que yo había descubierto. En algún momento el *HTRI (Heat Transfer Research Institute of Alhambra, California)*, se interesó por mis resultados, e incluso les elaboré una fórmula para garantizar la eficacia de un intercambiador de calor. Esta fue una experiencia novedosa para un ex físico de partículas elementales: nunca nadie me había "comprado" una fórmula. Pero para la empresa para la que trabajaba, que solía vender proyectos de ingeniería por valores de nueve dígitos, vender una fórmula de cuatro dígitos no era algo especialmente significativo. Hasta aquí puedo resumir mi experiencia como científico en una empresa de ingeniería líder en Argentina diciendo que logré hacer tanto un trabajo útil que no era de investigación, como un trabajo de investigación que difícilmente podría justificarse en base a su impacto industrial.

5. Un enfoque sistemático

Que no se crea que no veo ninguna posibilidad de realizar un trabajo significativo en el campo de la física aplicada en los países en desarrollo. Lo que quiero decir es que hay dificultades y que la elección del área de investigación es delicada y debe estudiarse cuidadosamente. Habiendo

expresado esto, hace aproximadamente diez años comenzamos a promover el trabajo de investigación y desarrollo directamente relacionados con una actividad industrial en la que se cumplían las siguientes premisas:

1. Se trataba de tecnologías modernas,
2. Existía un mercado considerable, y
3. El mercado era competitivo.

Estos tres factores son necesarios para proporcionar una base sólida para una actividad sostenida de investigación y desarrollo. De hecho, aunque exista un mercado considerable para un producto que requiere tecnologías avanzadas, puede darse el caso que el mercado no sea competitivo debido a algunas políticas proteccionistas, o por cualquier otra razón. En ese caso, es muy difícil lograr que la dirección industrial dedique esfuerzos y recursos a las actividades de investigación y desarrollo. Si se puede generar dinero rápido, el *know-how* es suficiente, y no es necesario el *know-why*. Y sin el apoyo del sector industrial, ningún programa de investigación y desarrollo puede considerarse firme. También quisiera agregar que sólo podemos esperar alcanzar niveles de excelencia en el trabajo de investigación y desarrollo aplicado si hay competitividad a nivel internacional.

5.1. Industria del acero

En nuestro caso, dentro de nuestra empresa, encontramos estas condiciones satisfechas en una siderúrgica integrada que fabrica tubos de acero, principalmente para la industria petrolera. Al exportar aproximadamente el 80% de su producción, esta empresa tenía que competir con fabricantes de todo el mundo (Japón, Alemania, Francia, etc.). Esto nos proporcionó un entorno ideal para el desarrollo de un programa piloto de investigación y desarrollo industrial, que hemos desarrollado gradualmente durante los últimos años. Repasaré brevemente cómo se ha desarrollado, ya que, a diferencia de los intentos anteriores que he descrito, tiene una base sólida y ha logrado resultados significativos.

5.2. Evaluación externa

Antes de empezar a patrocinar una actividad de investigación y desarrollo a gran escala, la administración de la empresa tenía que estar convencida de que el proyecto realmente valía la pena. Para ello, tiene que haber una administración bien informada, lo que no es fácil de encontrar. Incluso en una empresa innovadora de este tipo, una administración bien informada necesita algún tipo de evaluación de la capacidad de un grupo de investigación y desarrollo para cumplir su objetivo. Afortunadamente, en nuestro caso, el director general de la empresa tenía un doctorado en el Instituto Tecnológico de Massachusetts, lo cual es bastante inusual, y ayudó a generar un ambiente receptivo para la investigación y el desarrollo.

Además, encontramos un director con visión de futuro que, bajo su responsabilidad, patrocinó una modesta operación inicial con un presupuesto mínimo. Durante un par de años mantuvimos un perfil bajo y logramos un éxito moderado. Trabajábamos en una empresa de ingeniería y recibíamos honorarios, sobre todo en la resolución de problemas y en programas de interés para la planta de fabricación de tubos de acero. Conseguimos contratar por medio tiempo a expertos en metalurgia, ciencia de los materiales, fractura, corrosión, revestimientos, etc. para que resolvieran los problemas técnicos que íbamos encontrando. Muy frecuentemente se trataba de físicos que se habían especializado en el extranjero en estos campos aplicados. Gracias a algunos éxitos al comienzo, la empresa se comprometió con nuestro proyecto.

Con el tiempo, luego de esta operación inicial de bajo perfil, nos empezaron a inspeccionar en detalle. Teníamos que justificar nuestra existencia demostrando que la inversión valía la pena. Un consultor externo, un distinguido catedrático norteamericano en el campo de la Ingeniería de Materiales, contratado para que revisara nuestros programas de investigación y para "apagar los espíritus hirvientes" de este grupo rebelde, nos hizo una auditoría. Es curioso que el resultado de este proceso de evaluación fue la conclusión de que estábamos demasiado cerca del área de operaciones de la planta, y que nuestro Centro de Investigación Industrial corría el riesgo de convertirse en un sofisticado grupo de ingeniería de procesos. Finalmente, y con la intención de dotar al Centro de Investigación cierta independencia de la planta de fabricación, se creó una Fundación y se encargó de la administración del Centro. Cinco empresas industriales distintas, que pertenecían a la misma Corporación, y la sede de Campana de la Universidad Tecnológica Nacional fueron los patrocinadores originales de la Fundación.

5.3. El Centro de Investigaciones Industriales

Hoy en día este Centro de Investigaciones Industriales ha crecido y ha alcanzado reconocimiento; como toda empresa humana, puede ser criticada y mejorada, pero nadie cuestiona las razones de su existencia. Cuenta con un presupuesto anual de más de 4 millones de dólares, una planta permanente de seis investigadores senior, algunos intermedios y un gran grupo de estudiantes de posgrado, lo que hace un total de más de 30 personas. Las instalaciones del laboratorio aún se están desarrollando, pero también se realizan pruebas de laboratorio en varias instituciones en distintas partes de Argentina y algunas veces también en el extranjero.

Las principales actividades del centro son la comprensión y la mejora de los procesos de fabricación, la relación entre los parámetros de funcionamiento y la calidad del producto, y la evaluación del rendimiento de los productos manufacturados. Las técnicas utilizadas son la modelización matemática, los ensayos de laboratorio y las pruebas en planta. Las

disciplinas más frecuentes son la ciencia de los materiales, la metalurgia, la física, la modelización numérica, el procesamiento de señales, etc. La formación avanzada en investigación aplicada de jóvenes científicos e ingenieros forma parte de nuestra actividad.

6. Evaluación del rendimiento

¿Cómo se puede medir el éxito de un centro de este tipo? Puede resultar difícil medirlo en términos estrictamente económicos. En algunos casos, es posible asignarle un precio al desarrollo de un proceso. Un ejemplo es la sustitución de un acero templado por otro con una formulación diferente que logra propiedades similares con un proceso de fabricación más barato. En ese caso se puede calcular el ahorro de tantos centavos o dólares por tonelada. En otros casos, sin embargo, es más difícil, como cuando el resultado del trabajo es la mejora de la calidad del producto final, sin una disminución del costo. ¿Cuánto vale esta mejora? ¿En qué medida esta mejora de la calidad ha influido en el hecho de que una gran petrolera le haya comprado a usted, en lugar de a algún competidor japonés? Una autocrítica que debemos hacer es reconocer que no solemos hacer este tipo de análisis. Nos complace la mejora técnica, pero nos aburre medir su impacto económico. Tenemos que aprender a superar esta tendencia. Tenemos que hacer un esfuerzo deliberado por encontrar argumentos cuantitativos para "vender" nuestro producto, con el fin de mejorar nuestras posibilidades de obtener apoyo para futuros esfuerzos.

7. Cooperación internacional

Podemos preguntarnos si la colaboración internacional sirvió para poner en marcha nuestro Centro de Investigación Industrial. Me gustaría mencionar dos casos en los que encontramos cooperación internacional.

7.1. Primer intento

El primero fue con una agencia internacional de investigación y desarrollo ubicada en Canadá. Cuando todavía estábamos en la empresa de ingeniería, le presentamos a esta agencia una propuesta para el desarrollo de un sistema experto para un problema de diseño de ingeniería.

Lo que hicimos en ese momento fue describir los logros más significativos de nuestra empresa: canales y túneles a través de los Andes, puentes inmensos, cientos de kilómetros de rutas, todo tipo de plantas industriales, etc. Ellos nos respondieron señalando que su empresa solo apoyaba a las pequeñas y medianas empresas, y que la nuestra no cumplía con los requisitos para serlo.

Al principio esta respuesta me asombró, pero luego he reflexionado sobre el problema de las pequeñas y medianas empresas. Es cierto que una parte considerable del Producto Bruto Nacional es generado por estas empresas, y que es mucho más difícil para ellas activar un programa de investigación y desarrollo que para una gran empresa, pero también es cierto que cualquier programa dirigido a una de estas empresas tendrá un impacto económico aproximadamente proporcional a la producción de esa empresa. Por lo tanto, el impacto de un programa de este tipo tendrá la posibilidad de ser significativo sólo si varias de empresas se unen en algún tipo de cooperación.

8. Segundo intento

Es curioso que nuestro segundo encuentro con la cooperación internacional, aunque hasta ahora no había aportado ni un solo dólar, ni un solo experto, a nuestro funcionamiento ha tenido tanto impacto en la vida de nuestro Centro. A continuación, explicaré cómo se produjo esta situación paradójica.

Hace algunos años, luego del periodo inicial de trabajar con perfil bajo, presentamos una propuesta al gobierno italiano. Ésta se inscribió en programas con la colaboración del Ministerio de Asuntos Exteriores de Italia, que proveía asistencia a los países en vías de desarrollo. En algunos casos, el problema de estos programas era que el receptor era incapaz de proporcionar el mantenimiento de los equipos donados, y sueldos decentes para los investigadores. En nuestro caso no existía ese peligro porque contábamos con el respaldo de una empresa fuerte que no permitiría que se desperdiciara un subsidio.

Mientras esperábamos el subsidio, nuestra operación creció y empezamos a comprar algunos equipos. Nuestro proyecto fue considerado prioritario por las autoridades argentinas e italianas, e incluso sobrevivió a un cambio en la administración de nuestro país. A pesar de todo esto, cada vez que se reunía el Comité de financiación italiano, algo sucedía y nunca se asignaron fondos a nuestro proyecto. Pero la mera existencia de esta posible ayuda, la idea de que pudiéramos obtener esta máquina de pruebas, este horno experimental o esa potente estación de trabajo, nos obligó a empezar a soñar. Y los sueños empezaron a materializarse poco a poco, sin una sola lira por parte del gobierno italiano. Esta es una forma sutil en la que la cooperación internacional puede funcionar: como una especie de catalizador que estimula nuestros sueños.

9. Recursos humanos

Antes de concluir, me gustaría mencionar otro requisito muy importante para el éxito de un programa de investigación aplicada: el factor humano. Para poner en marcha un programa de este tipo se necesita el mayor nivel posible de excelencia académica. Esto es así no sólo por las dificultades técnicas reales que se presentan, sino también porque es la mejor garantía de que estas dificultades se aborden de forma abierta, honesta y objetiva, y de que no se esconda nada debajo de la alfombra.

En cuanto a los recursos humanos podemos incluso encontrar en algunos campos una ventaja competitiva en nuestros países en desarrollo. Esto no se debe a que seamos mejores o más inteligentes que los demás. Nuestros mejores empleados son tan buenos como los de los países desarrollados, y tienen una formación similar, muchas veces adquirida en universidades del exterior. La diferencia reside en que nuestra industria no puede competir en la vanguardia de la tecnología. Por lo tanto, mientras los mejores expertos en los países desarrollados se ocupan de procesos o materiales muy sofisticados, nuestros expertos, utilizando las mismas herramientas de investigación avanzadas, acaban trabajando en una clase diferente de problemas, problemas que no son tan glamorosos, ni están de moda y que nunca abordarían si trabajaran en un país desarrollado. Creo que debemos concentrar nuestros esfuerzos en estos problemas porque son relevantes para nuestras industrias, y nos dan una mejor oportunidad de competir.

10. Conclusiones

Quisiera terminar resumiendo mis argumentos en los siguientes puntos:

1. Sólo un mercado amplio y competitivo proporciona una base sólida para el desarrollo de la investigación aplicada en física.
2. La industria de los países en desarrollo no está acostumbrada a patrocinar este tipo de investigación, pero es posible que tenga que hacerlo en el futuro si quiere sobrevivir a las tendencias del mercado.
3. La cooperación internacional puede incentivar a la industria a lanzarse a programas de investigación aplicada.
4. Los recursos humanos de alto nivel son esenciales, pero existen, y en algunas en algunas áreas pueden incluso proporcionar una posición competitiva a los países en vías de desarrollo.

Agradecimientos

Aunque esta exposición se basa en experiencias personales, las ideas presentadas aquí se han desarrollado a través de numerosos debates con

varios colegas, entre los que me gustaría mencionar a Naren Bali, Raúl Boix Amat, Eduardo Dvorkin, Guillermo Fitzsimons y Carlos Pampillo. También quiero agradecerles a Roberto Rocca y Eduardo Baglietto: si hace 21 años no se hubieran arriesgado a contratar a un par de físicos de partículas para trabajar en una empresa de ingeniería argentina, muy probablemente yo no estaría hablando hoy en esta reunión.

INSTRUCCIONES PARA AUTORES

La publicación de artículos científicos en los Anales de la ANCEFN está abierta a la comunidad científica nacional e internacional sin costo alguno.

Las Contribuciones Científicas están destinadas a la publicación de trabajos de investigación originales y revisiones en todos los temas de interés de la Academia (matemática, física, astronomía, química, ingeniería y tecnología, ciencias de la tierra y biología).

A partir del volumen 67 (2015), los Anales se editan solamente en versión electrónica. El manuscrito original debe ser enviado por correo electrónico a la dirección: biblio@ancefn.org.ar

CONTENIDO Y ESTILO

Se recomienda tener en cuenta que el auditorio de los Anales de la ANCEFN es muy amplio, y por ende incluye muchos lectores que no son especialistas en los temas de los artículos. Por lo tanto, es conveniente procurar que éstos sean accesibles a un espectro heterogéneo, cubriendo adecuadamente la explicación de los aspectos más específicos de cada disciplina o tema tratado. Si bien se respetará el estilo de cada autor, se deberá tener presente que en los artículos científicos la precisión es mucho más importante que la elegancia de la prosa.

Como es usual, se recomienda subdividir el trabajo en secciones (Introducción, Materiales y Métodos, Resultados, Discusión, Agradecimientos, Referencias bibliográficas) y, en páginas separadas, los Epígrafes de Tablas y Figuras.

EXTENSIÓN

La extensión no está limitada, pero se recomienda que los trabajos no excedan de 20.000 palabras (incluyendo referencias y epígrafes).

IDIOMA

Los trabajos podrán ser presentados en español o en inglés.

PRESENTACIÓN

El texto original deberá prepararse utilizando el procesador Word (para PC), en tamaño de hoja A4. Se utilizará letra tipo Century Schoolbook y cuerpo 12, con espaciado simple entre renglones.

TÍTULO, AUTORES, DIRECCIONES Y RESÚMENES

En la primera página, de acuerdo al siguiente detalle:

(1) El título del trabajo íntegramente en **MAYÚSCULAS NEGRITAS**, cuerpo de letra 14, centrado en la hoja, y sin punto final;

(2) El nombre del o los autores (nombres y apellido completos) en *itálicas* mayúscula/minúscula. En casos donde haya más un autor, cada nombre irá seguido por un superíndice numérico que identifique su lugar de trabajo. El autor de correspondencia se indicará con un asterisco;

(3) La o las direcciones de los lugares de trabajo del o los autores, precedidos por el superíndice indicado en (2);

(4) Si hubiera más de un autor, un asterisco (ver 2) y el correo electrónico correspondiente.

(5) Resúmenes. A continuación deberá incluirse el resumen en español, y el resumen (*Abstract*) en inglés, ambos seguidos de de 3 a 7 palabras clave (*keywords*). Los trabajos en inglés llevarán primero el resumen en ese idioma, y luego el resumen en castellano precedido por el título, también en castellano. Los resúmenes no deberán exceder las 500 palabras (aprox. 3000 caracteres, con espacios) y constarán de un párrafo único, sin referencias bibliográficas.

Ejemplo (en lo sucesivo, los ejemplos están destacados con fondo grisado).

IMPACTOS DE LA CONTAMINACIÓN EN LA CUENCA DEL RÍO DE LA PLATA

José M. del Prado^{1,2}, Valeria Gómez^{2,3}, Juan P. Ingenieros⁴*

¹Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas, Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina

²IEGEB, Instituto de Ecología, Genética y Evolución, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales - Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas, Universidad de Buenos Aires, Intendente

Güiraldes 2160, Pabellón 2, Ciudad Universitaria, 1428 Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina

³Servicio de Hidrografía Naval, Av. Montes de Oca 2124, 1271 Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina, Argentina

⁴Museo Argentino de Ciencias Naturales - Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas, Av. Angel Gallardo 470, 1405 Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina, Argentina

*Autor de correspondencia: delprado@gl.fcen.uba.ar

Resumen

La Cuenca del Río de la Plata sufre los efectos de la contaminación de numerosas...

Palabras clave: Contaminación, Polución, agua dulce...

Abstract

Impacts of pollution by heavy metals in the Río de la Plata basin.

The Río de la Plata basin is subject to pollution impacts from many sources...

Keywords: Pollution, Río de la Plata, freshwater...

Texto

Los subtítulos serán numerados comenzando por la Introducción e indicando los niveles correspondientes. Por ejemplo:

1. Introducción
2. Material y métodos
 - 2.1. Trabajo de campo
 - 2.2. Técnicas de laboratorio
3. Resultados
 - 3.1. Tipos de contaminantes
 - 3.1.1. Metales pesados
 - 3.1.2. Pesticidas
 - 3.2. Distribución geográfica de los contaminantes
 - 3.3. Niveles de contaminación
 - 3.4. Relaciones entre contaminación y urbanización
4. Discusión
 - 4.1. Tipos de contaminantes
- ...

Agradecimientos

Referencias

FIGURAS

Son todos los materiales gráficos (dibujos, diagramas, gráficos, mapas, fotografías, blanco y negro, grises o color) utilizados para ilustrar el texto. Serán numeradas correlativamente con números arábigos de acuerdo a su mención en el texto (como “Fig. 1, Fig. 2” etc. o, si incluyen varias imágenes complementarias en la misma figura, “Fig. 1A, Fig. 2C”, etc. Cada una debe contar con un epígrafe conciso pero suficiente para interpretar la imagen sin necesidad de recurrir al texto. Se presentarán en archivos independientes identificados abreviadamente con primer autor y número de figura (por ejemplo, “del Prado Fig 1.EPS”. En el archivo del texto se indicará (utilizando un color de letra diferente o sombreado) la posición aproximada donde debe ser ubicada la figura o correspondiente.

Los originales de las figuras utilizadas pueden estar en dos formatos diferentes: imágenes rasterizadas o bitmaps (generalmente fotos), o imágenes vectorizadas (gráficos de líneas, curvas, histogramas, etc.). En ambos casos, deberán ser presentadas en formato EPS (Encapsulated PostScript). Los bitmaps originales (antes de ser convertidos a EPS) deben estar en una resolución mínima de 300 ppp (puntos por pulgada, o dpi - *dots per inch*) para asegurar una calidad y legibilidad adecuadas (esta resolución debe ser la utilizada en el momento de generar la imagen; una imagen obtenida a 70 ppp puede ser convertida 300 ppp, pero ello no mejorará su resolución). Al generar los bitmaps originales (como fotos), se debe utilizar el formato TIF (no JPG o JPEG, ya que éstos pueden reducir muy sensiblemente la calidad). El tamaño del texto en las figuras no debe ser inferior a 5 puntos (teniendo en cuenta que algunas pueden ser reducidas para adecuarse al ancho y/o altura de la página (aprox. 160 x 215 mm).

Para los rótulos en las figuras se debe utilizar una fuente sin serif (e.g., Arial).

Los epígrafes estarán en letra tipo Century Schoolbook y cuerpo 9, centrados y con espaciado simple entre renglones. Por ejemplo:

Fig. 1. Datos de ozono versus temperatura

TABLAS

Al igual que las figuras, deben ser numeradas correlativamente con números arábigos de acuerdo a su mención en el texto (Tabla 1, Tabla 2, etc.).

Serán presentadas en archivos independientes identificados y aclarando su posición en el texto como se detallara para las figuras.

MULTIMEDIA, ANIMACIONES Y OTROS RECURSOS

Los autores pueden incluir enlaces externos a figuras, bases de datos, animaciones, etc. sean de utilidad para ilustrar el texto.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

EN EL TEXTO

Se usará el formato de autor-año. Por ejemplo:

“... cobre en altas concentraciones (Gómez 2008).”

“... cobre en altas concentraciones (Gómez y Pérez 2009).” [o “Gómez and Pérez 2009”, en los trabajos en inglés].

“Según Gómez (2008), el cobre...”

Cuando se trate de más de dos autores, se utilizará el apellido del primero seguido por “et al.”:

“... cobre en altas concentraciones (Gómez et al. 2004).”

Los trabajos diferentes del mismo autor/es y año se diferenciarán con una letra a continuación del año:

“... cobre en altas concentraciones (Gómez et al. 2004a), aunque esta tendencia puede ser variable (Gómez et al. 2004b).”

Las citas consecutivas se separarán con punto y coma:

“... cobre en altas concentraciones (Gómez 2008; Gómez y Pérez 2009).”

En el texto, el ordenamiento de las citas será por año (ascendente), y, en caso de años iguales, por apellido del primer, primero y segundo, etc. autor (ascendente).

EN LA BIBLIOGRAFÍA (Referencias)

A continuación se dan ejemplos de formato de referencias para diferentes fuentes. Por favor, prestar atención al uso de los signos de puntuación.

Artículos en revistas

En las revistas con versión electrónica solamente, los trabajos suelen carecer de paginación, en estos casos, a continuación del volumen se utilizará el identificador provisto por la revista o el DOI. En los trabajos ya aceptados pero aún no paginados e incluidos en un volumen impreso o digital, las páginas (o volumen y páginas) serán reemplazados por el DOI correspondiente.

- Belanger SE, Cherry DS, Farris JL, Sappington KG, Cairns J (1991) Sensitivity of the Asiatic clam to various biocidal control agents. *Journal of the American Water Works Association*, 83:79-87.
- Cassini MH, Túnez JI (2019) Situación ambiental del Bajo Delta del Paraná: ¿Qué opinan los pobladores? *Ecología Austral*, 29:296-305.
- Mora C, Tittensor DP, Adl S, Simpson AG, Worm B (2011) How many species are there on Earth and in the ocean? *PLoS Biology*, 9:e1001127.
- Meloni M, Correa N, Pitombo FB, Chiesa IL, Doti B, Elías R, Genzano G, Giachetti CB, Giménez D, López-Gappa J, Pastor C, Wandeness AP, Ramírez FC, Roccatagliata D, Schulze-Sylvester M, Tatián M, Zelaya DG, Sylvester F (2020) In-water and dry-dock hull fouling assessments reveal high risk for regional translocation of nonindigenous species in the southwestern Atlantic. *Hydrobiologia*, DOI: 10.1007/s10750-020-04345-4.

Libros

Se deberá incluir la editorial, ciudad (y país) correspondientes, y las páginas. Ejemplos:

- Hakanson L (1999) *Water pollution*. Backhuys Publishers, Leiden (Holanda), pp. 1-277.
- Kennish MJ (1998) *Pollution impacts on marine biotic communities*. CRC Press, Boca Raton (USA), pp. 1-310.

Libros editados

- Seeliger U, Odebrecht C, Castello JP (eds.) (1997) *Subtropical convergence environments. The coast and sea in the Southwestern Atlantic*. Springer, Berlin (Alemania), pp. 1-308.

Capítulos de libros

- de Kock WC, Bowmer CT (1993) Bioaccumulation, biological effects, and food chain transfer of contaminants in the zebra mussel (*Dreissena polymorpha*). En: Nalepa TF, Schloesser D (eds.) *Zebra mussels: biology, impacts, and control*, Lewis Publishers, Boca Raton (USA), pp. 503-533.

Muñiz P, Venturini N, Brugnoli E, Gutiérrez JM, Acuña A (2019) Río de la Plata: Uruguay. En: Sheppard C (ed.) *World Seas: an Environmental Evaluation*, Academic Press, London (Reino Unido), pp. 703-724.

Congresos

Leguizamón F, Paolucci EM, Sardiña P, Sylvester F (2014) Respuestas de las comunidades bentónicas a la facilitación por moluscos invasores y a la contaminación. En: VI Congreso Argentino de Limnología, La Plata (Argentina)

Puig A, Olgún Salinas HF, Borús JA (2016) Heterogeneidad espacial de la calidad del agua fluvial en la Reserva de Biósfera "Delta del Paraná" bajo condiciones hidrológicas contrastantes. En: Congreso Iberoamericano de Limnología, Valdivia (Chile)

Tesis

Vallarino EA (2002) La comunidad bentónica intermareal de *Brachidontes rodriguezii* (D'Orb.) y su relación con el efluente cloacal de la ciudad de Mar del Plata (38°S). Tesis de Doctorado, Universidad Nacional de Mar del Plata (Argentina), pp. 1-188.

Silva ACS (2016) Quantificação de metais potencialmente tóxicos em mexilhão dourado (*Limnoperna fortunei*) por espectrometria de absorção atômica com fonte contínua e alta resolução empregando amostragem direta de sólidos. Tesis de Maestría, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (Brasil), pp. 1-108.

Seears H (2011) Biogeography and phylogenetics of the planktonic Foraminifera. PhD Thesis, University of Nottingham (UK), pp. 1-380.

Página WEB

Soltis P, Soltis D, Edwards C. Angiosperms. Flowering plants. <http://tolweb.org/Angiosperms>.

United States Environmental Protection Agency. Invasive Species in the Great Lakes. <https://www.epa.gov/greatlakes/invasive-species-great-lakes>.

Informes técnicos y afines

International Maritime Organization (1997) Guidelines for the control and management of ships' ballast water to minimize the transfer of harmful aquatic organisms and pathogens. Resolution A.868(20) (adopted on 27 November 1997). <http://www.imo.org/en/KnowledgeCentre/IndexofIMOResolutions/Assembly/Documents/A.868%2820%29.pdf>.

Martin Associates (2018) Economic impacts of maritime shipping in the Great Lakes - St. Lawrence region. The Saint Lawrence Seaway Development Corporation, The St. Lawrence Seaway Management

Corporation, The American Great Lakes Ports Association, The Chamber of Marine Commerce, the Lake Carriers Association, The Shipping Federation of Canada. Lancaster (USA). https://greatlakes-seaway.com/wp-content/uploads/2019/10/eco_impact_full.pdf.

Manuscritos inéditos

Pérez RP (Ms) The effect of dissolved oxygen, sediment, and sewage treatment plant discharges on the growth, survival and density of Asiatic clams.

Notas periodísticas

Sudacov D (2019) Un mal poco conocido. Intoxicación con metales pesados: silenciosa y potencialmente mortal. Clarín (Buenos Aires, Argentina). 12 de septiembre de 2019. https://www.clarin.com/buenavida/intoxicacion-metales-pesados-silenciosa-potencialmente-mortal_0_37LsmeQhY.html.

Fernández P, Kippes R (2006) Investigan contaminación por metales pesados. El Litoral (Santa Fe, Argentina). 19 de julio de 2006. <https://www.ellitoral.com/index.php/diarios/2006/07/19/medioambiente/MED-01.html>.

Anónimo (2020) “ToxiTour”, un recorrido por los lugares más contaminados de México. Infobae (Buenos Aires, Argentina). 4 de octubre de 2020. <https://www.infobae.com/america/mexico/2019/12/05/toxitour-un-recorrido-por-los-lugares-mas-contaminados-de-mexico/>.

Otras fuentes

El formato de estas fuentes de información será más variable dependiendo de su origen y de los datos disponibles. Se tratarán de incluir los siguientes datos:

Autor(es) (nombres, instituciones o “Anónimo”, en el caso de artículos sin autor declarado)

Año

Título del documento

Fuente y fecha (nombre del diario o revista, ciudad y país, fecha de publicación)

Dirección WEB (si existe)

En la lista de referencias (Referencias) el ordenamiento es por apellido del primer autor y año (ascendentes), o primero, primero-segundo, primero-segundo-tercero, etc., en caso de años iguales.

