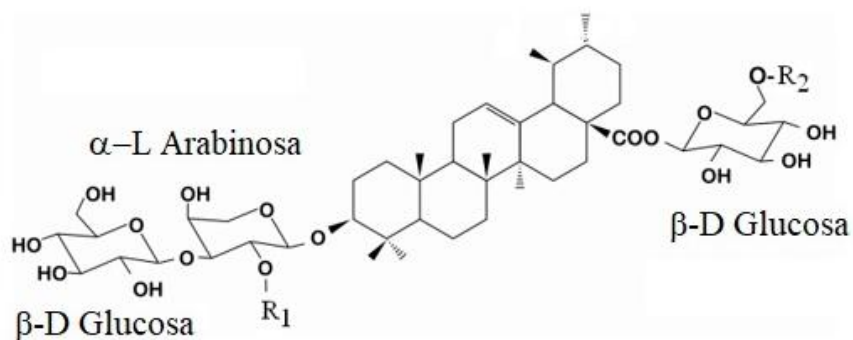
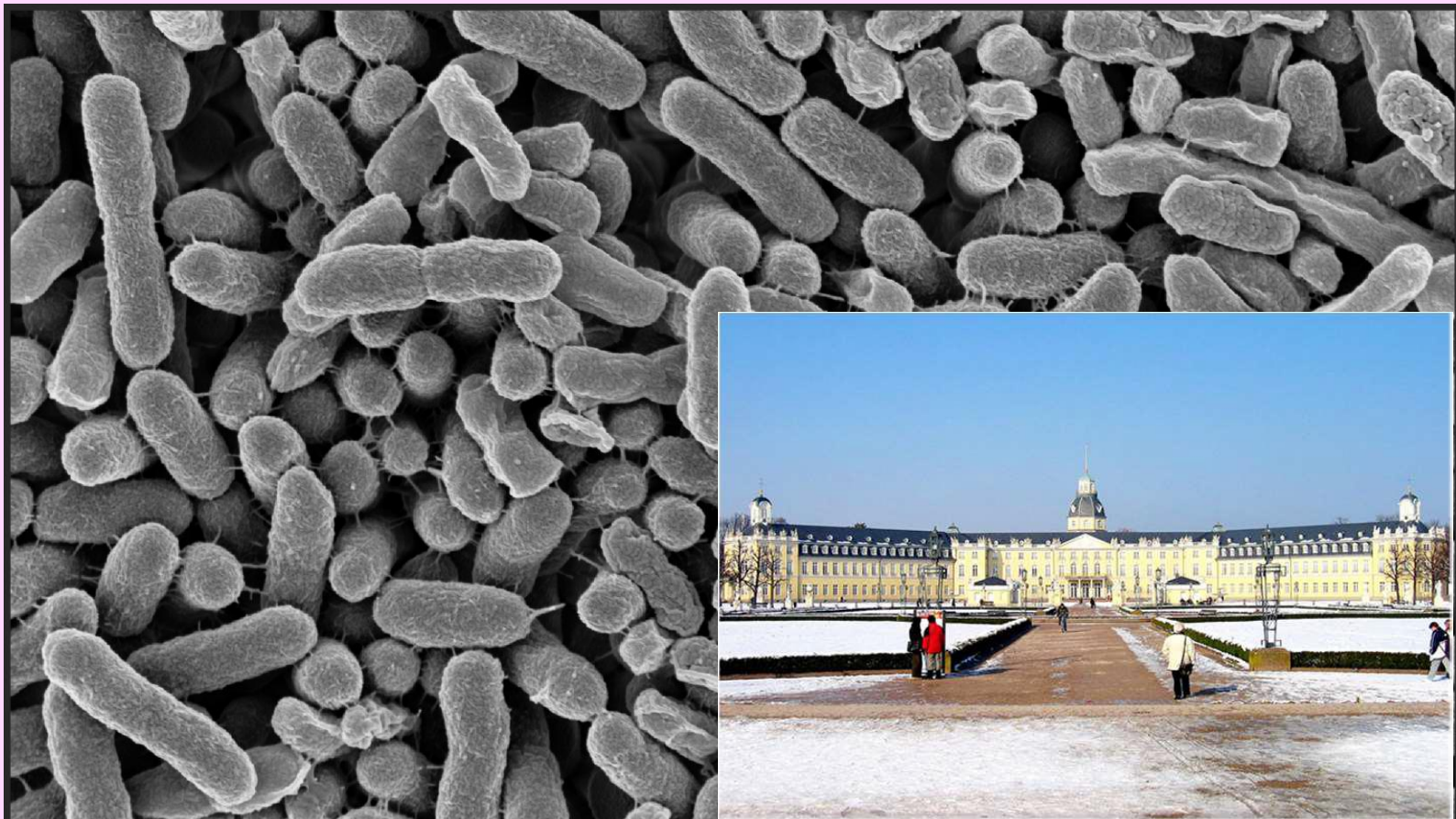


INDUSTRIA & QUÍMICA

ISSN 0368-0819

Noviembre 2021 – N° 371

REVISTA DE LA ASOCIACION QUIMICA ARGENTINA



Matesaponina	$[M+Na]^+$	R ₁	R ₂
1	935	H	H
2	1081	Rha	H
3	1097	H	Glu
4	1243	Rha	Glu
5	1406	Rha	Glu-Glu

Editorial

Y llegó la pandemia de COVID-19 para transformar nuestras vidas, pero también para darle valor a las pequeñas grandes cosas como la familia, la amistad, los besos, los abrazos, los encuentros a cara descubierta, todo aquello que ya no podíamos hacer

En los primeros más de noventa días del nuevo gobierno, afortunadamente ya se habían re-instalado el Ministerio de Salud, Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación y el Ministerio de Trabajo. En los días de restricción para circular, se logró no sólo controlar la expansión del virus, sino dar tiempo para aumentar el número de camas en las UCI (Unidades de Cuidados Intensivos) en Capital y en todo el país, completando además la construcción de algunos hospitales, que había sido interrumpida por el gobierno anterior.

Con mirada retrospectiva hoy se puede decir que el fortalecimiento del Sistema de Salud Pública en todo el país permitió evitar desbordes y colapsos en las dos olas sufridas de intensa actividad del virus SARS-CoV-2, y en este último año, con la exitosa vacunación de la población, se evitó una tercera ola. Pero aún estamos expuestos.

El sistema académico y profesional argentino se puso de pie durante estos casi dos años de labor ininterrumpida, los médicos, infectólogos, epidemiólogos e intensivistas y todo el personal paramédico, los profesionales de la Administración Nacional de Medicamentos, Alimentos y Tecnología Médica (ANMAT) para analizar las vacunas que fueron apareciendo desde diciembre de 2020 y dar el veredicto sobre su aplicación en nuestro país. El sistema académico de CONICET con Químicos, Bioquímicos, Médicos, Biólogos, Veterinarios y Farmacéuticos, y hasta Físicos, Matemáticos e Ingenieros que colaboraron para desarrollar, primero, barbijos y material de protección como cofias, máscaras, camisolines y protectores de zapatos, así como respiradores de doble entrada, también kits serológicos rápidos, entre ellos, los Chemtests y Chemstrips que distinguen cualitativamente en 10 minutos anticuerpos contra SARS-CoV-2 de aparición rápida (IgM) y de aparición tardía (IgG) desarrollados entre investigadores de la Universidad Nacional de San Martín y de la Universidad de Buenos Aires, y también COVIDAR IgG e IgM desarrollados por investigadores de CONICET y del Instituto Leloir, que determinan en muestras de sangre o de suero, si la persona tiene anticuerpos contra el virus pero no si está infectada en ese momento, y un test rápido y económico de base molecular de detección de la presencia del

ISSN: 2591-6718



COMISION DIRECTIVA DE LA
ASOCIACION QUIMICA ARGENTINA

Presidente

Dr. Carlos Oscar Cañellas

Vicepresidente

Dr. Alberto Luis Capparelli

Secretaria

Dra. Alicia B. Pomilio

Prosecretario

Dr. Isaac Marcos Cohen†

Tesorero

Dr. Arturo Vitale

Protesorero

Tco. Qco. Claudio Salvador

Director de Biblioteca

Dr. Máximo Barón

Vicedirectora de Biblioteca

Dra. Stella Maris Battista

Vocales Titulares

Dr. Ángel Alonso

Dr. Máximo Barón

Dra. Stella Maris Battista

Dr. Eduardo Alberto Castro

Dr. Jorge Oscar Ciprian Ollivier

Dr. Pablo Román Duchowicz

Dra. Sandra Hernández

Dr. Alberto Jorge Lazarowski

Dra. Alicia Beatriz Pomilio

Dra. Marisa Gabriela Repetto

Lic. Enrique G. Rodger

Técnico Químico Claudio Salvador

Dr. Arturo Alberto Vitale

Vocales Suplentes

Dr. Luis Bruno Blanch

Dr. Franco Martín Cabrerizo

Dra. Alicia Jubert

Dr. Gustavo Ruiz

ISSN: 2591-6718

COMISION DIRECTIVA DE LA
ASOCIACION QUIMICA ARGENTINA**Órgano de Fiscalización****Titulares**

Dr. Mario Félix

Dr. Víctor Daniel Szewczuk

Suplentes

Dr. Andrew Gustavo Mercader

Dr. Juan C. López Mussi

PremiosDra. Alicia B. Pomilio, Dr. Arturo A.
Vitale.**INDUSTRIA Y QUÍMICA**Órgano oficial de la Asociación Química
Argentina**Director**

Dr. Alberto L. Capparelli

Comité de Redacción

Dr. Mariano Fonticelli

Dra. Lydía Galagovsky

Tco. Qco. Claudio Salvador

Edición

Dra. Isabel María Irurzun

**Comité Científico Asesor de Industria
y Química**

Dr. Enrique J. Baran

Dra. Cristina Añón

Dr. Miguel Angel Blesa

Dra. Elsa Damonte

Dr. Miguel R. Laborde

Dra. Alicia B. Pomilio

Dra. Silvia Porro

Dra. Norma Sbarbati Nudelman

Dr. Horacio Sancovich

Dra. Rosario Soriano

Dra. Noemí Walsöe de Reca

virus (resultados en 1 hora) por hisopado nasal o bucal, similar al PCR (reacción en cadena de la polimerasa; resultados en 4 horas), que ya se comercializa como el test diagnóstico Neokit y es uno de los cuatro que hay en el mundo. Asimismo, el Instituto Malbrán, principal referente de enfermedades infecciosas de nuestro país que depende del Ministerio de Salud, se destacó en las primeras etapas mostrando su experiencia en la secuenciación del genoma del virus que circulaba en Argentina y luego, de las variantes que fueron apareciendo. Actualmente, es además centinela del control de circulación de la variante delta, mientras ANMAT continúa con el análisis de los lotes de vacunas que entran al país y de las que se producen en nuestro territorio, antes de pasarlas a los vacunatorios.

Surgieron también las Unidades Sanitarias Móviles de Emergencia y las de Bioseguridad con los Operativos correspondientes para todo el país, con la participación especial de Médicos y Bioquímicos jóvenes convocados por el Ministerio de Salud, así como tratamientos para diferentes etapas de la enfermedad, especialmente con el plasma inmune específico de pacientes convalecientes en el que Argentina fue pionera en el mundo gracias al Dr. Julio Maiztegui en su lucha contra el virus Junín en la década del '50, y la inmunoterapia pasiva con anticuerpos policlonales equinos (suero equino hiperinmune). Además, se inició el desarrollo de vacunas argentinas, con ayuda de CONICET, que se encuentran actualmente cumpliendo con las fases clínicas requeridas; una de ellas, CoroVaxG.3, desarrollada por investigadores de CONICET y la Fundación Instituto Leloir, ha demostrado ser eficiente frente a las variantes alfa, gamma y delta del virus, según la publicación internacional. Se hicieron también comprobaciones experimentales de la eficacia inmunológica de las vacunas aplicadas en el país, mostrando los notables resultados obtenidos con Sputnik V en las publicaciones correspondientes a franjas etarias, dosis e influencia del género. Varios de los académicos y profesionales son miembros de la AQA.

También la AQA, al comenzar la pandemia, estaba en una etapa de modernización, en la sede transitoria de la Sociedad Científica Argentina y en la construcción de las nuevas instalaciones en su clásica sede de Sánchez de Bustamante. La AQA debió reinventarse durante este tiempo, para lo cual se desarrollaron satisfactoriamente Cursos a distancia de interés con participantes de habla castellana del Continente Americano y de España, y se dieron cursos especiales para las Industrias del país y de países limítrofes como Uruguay, Chile, Bolivia y Paraguay, registrando una marcada participación e interés.

¡Felicitamos y agradecemos desde aquí a todos los Académicos y Profesionales que se dedicaron y se dedican a trabajar por el país y su prójimo en esta extraña etapa que nos ha tocado vivir como ciudadanos del mundo!

Índice

Editorial

Pág. 1

Actividades de la Asociación Química Argentina

Noticias Institucionales

Pág. 5

*Avance de las obras de modernización
de la nueva sede de la AQA*

Pág. 11

Educación

Innovación y Desarrollo:

Pág. 13

*Una Propuesta para la Formación de Ingenieros
en Agrobiotecnología*

Interdisciplinar en Ciencias: una Necesidad Contemporánea.

Pág. 19

Santiago del Estero Comunica su Ciencia.

Pág. 27

El Nacimiento de la Química Moderna

Pág. 33

Artículos Técnicos

La Importancia de la Radiactividad en Nuestra Vida

Pág. 57

Los Hongos Afectan a Pacientes con COVID-19

Pág. 65

Cuando las Moléculas Termolábiles Vuelan

Pág. 73

Tecnologías de Base Fotoquímica Aplicadas

Pág. 93

a la Eliminación de Contaminantes en Agua

Potenciales Beneficios del uso de CBD en Epilepsia

Pág. 111

Biofilms Microbianos

Pág. 123

para las Industrias Química y Alimentaria y para la Salud

De una Fábrica Química Pionera

Pág. 137

a la Nueva Sede del Gobierno de la Ciudad de Buenos Aires

Noticias Académicas y Tecnológicas

Premios Nobel de Química y de Física 2020

Pág. 153

Premios Nobel de Química y de Física 2021

Pág. 157

Homenaje a la Dra. Lydia Cascarini de Torre

Pág. 161

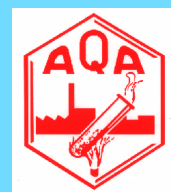
Homenaje al Prof. Dr. Alejandro J. Arvía

Pág. 163

Homenaje al Dr. Isaac Marcos Cohen

Pág. 165

ISSN: 2591- 6718



**Revista Anales de la Asociación
Química Argentina**

Directora

Dra. Susana A. Larrondo

Editores en Jefe

Dra. Susana A. Larrondo

Dra. Noemí E. Walsöe de Reca

Asistente Editorial

Lic. Cristina Corbellani.

Comité Editorial

Dra. Alicia Fernández Cirelli

Dra. Alicia Beatriz Pomilio

Dr. Ángel Alonso

Dr. Alberto Luis Capparelli

Dr. Eduardo Alberto Castro

Dra. Norma B. D'Accorso

Dr. Arturo Alberto Vitale

Comité Académico Asesor de Anales de la Asociación Química Argentina

Dra. Aída Ben Altabef

Dr. Ernesto Calvo

Dr. José Luis Crudo

Dr. Carlos O. Della Védova

Dra. Rosa Erra-Balsells

Dra. Marta Litter

Dra. Alicia Penissi

Dr. Gustavo Romanelli

Dr. Rolando Spanevello

Dr. Roberto J. J. Williams

Consejo Internacional de Asesores Científicos

Dr. Sylvio Canuto (Brasil)

Dr. Juan M. Díez Tascón (España)

Dr. José Elguero (España)

Dr. Ivan Gutman (Serbia)

Dr. Arsenio Muñoz de la Peña (España)

Dr. Francisco Tomás Vert (España)

Noticias Institucionales

Comité Editorial

Las actividades de la Asociación Química Argentina se vieron restringidas debido a la pandemia por COVID-19 y debido a las medidas que tuvo que tomar el gobierno nacional de mantener la cuarentena como medida de prevención para evitar los contagios. Todas las actividades que estaban programadas para el período 2020/2021 quedaron suspendidas hasta el año 2022.

Estas incluyen la realización del XXXIII Congreso de Química y la entrega de Premios a las mejores Tesis doctorales, egresados de las Universidades Nacionales en el área Química y colegios técnicos. También se postergan los premios en reconocimiento a las trayectorias académicas de docentes e investigadores del país.

SECRETARÍA

- Se efectuó la difusión electrónica y apoyo logístico a los cursos.
- Se coordinó la recepción y búsqueda de pedidos para la bolsa de trabajo.

● Se continuó con las actividades habituales de la secretaría, tales como cartas de otorgamiento de auspicios a Reuniones Académicas y/o Profesionales Nacionales, Regionales e Internacionales de otros Organismos e Instituciones, intercambio con otras Asociaciones, Cámaras e Industrias relacionadas con la Química y con las Autoridades Nacionales y de la Ciudad de Buenos Aires; además, atención de la correspondencia, notificaciones varias, tareas complementarias encargadas por miembros de la CD, atención de consultas por e-mail y WhatsApp y demás tareas concernientes al sector.

TESORERÍA

La AQA ofrece varias modalidades para el pago de las cuotas sociales y servicios: pago mediante transferencia interbancaria (tarjeta de débito o crédito Visa), mediante débito automático con la tarjeta VISA, todos los socios abonar sus cuotas mediante estas modalidades salvo los socios vitalicios (que se encuentran exentos) y aquellos que gozan de la licencias

debidamente autorizadas. También se incorporó Mercado Pago y Western Union para los socios que abonan desde el exterior.

CURSOS DE LA AQA

Coordinador: Claudio Salvador

Durante 2020 se desarrolló en la Asociación Química un amplio programa de cursos a distancia, en distintas modalidades, con gran participación de alumnos.

Esta modalidad se venía explorando en los últimos años, para ofrecer como alternativa a los tradicionales cursos presenciales, y posibilitar un mejor acceso por parte de socios, empresas e instituciones del interior del país.

En 2020 las restricciones impuestas por el aislamiento motivado por la pandemia, hicieron que los cursos virtuales fueran la única posibilidad.

Se concretaron 21 cursos, con centenares de alumnos, parte de Buenos Aires y conurbano, como es habitual, pero con gran cantidad de asistentes de

decenas de ciudades ubicadas en muchas provincias, de la Patagonia, el Norte, el litoral, Córdoba, toda la provincia de Buenos Aires, y otras, e inclusive participaron alumnos de 8 países, en su mayoría latinoamericanos.

No se mantuvo un formato único, sino que se dejó que cada docente de acuerdo a sus posibilidades desarrollara el curso, por ejemplo, en modalidades asincrónicas como la plataforma Moodle, o videos en Youtube; o por videoconferencia, por medio de Zoom, que fue el caballito de batalla de la comunicación en la cuarentena; o alternativas como Google Meet.

Las distintas posibilidades tuvieron muy buena aceptación, y durante 2021 se mantuvo exclusivamente el formato virtual, ampliando la oferta a unos 40 cursos, que cubren las temáticas habituales de Cromatografía, Calidad, Microbiología, Envases, Química Radiofarmacéutica, etc., pero se están agregando o retomando otras, como Aguas, Síntesis orgánica, Agroquímicos, Higiene y Seguridad, Alimentos, Bioseguridad, etc.

Este 2021 continuará hasta fin de año, destacándose un muy buen desarrollo de los cursos.

El detalle de los cursos a distancia desarrollados entre setiembre 2020 y agosto 2021 se muestra en la Tabla 1.

Actualmente los cursos se dan en diferentes modalidades sincrónica y asincrónica, plataforma Zoom, Moodle, correo electrónico etc. La difusión de los cursos puede consultarse en el sitio web de la AQA.

DIVISIÓN EDUCACION

Responsable: Dra. Sandra Hernández

Premio Profesorados en Química

Se halla en estudio la necesidad de generar una base de datos de Universidades e Institutos de Formación docentes que dicten Profesorados de Química para poder difundir la premiación de los mejores egresados de esta carrera.

Los premios podrían ser otorgados en el próximo Congreso de la AQA, en las próximas Jornadas de Educación o en el evento de premiación como el que se realizó en 2019.

Queda pendiente elegir el nombre de la personalidad que hará referencia el premio en cuestión.

Nuevo correo de la División Educación AQA

Ante las dificultades en el acceso al correo del área Educación y de acuerdo a lo manifestado por la Dra. Galagovsky, en abril 2021 se gestionó un nuevo correo

electrónico:

division.educacion@aqa.org.ar

Contribuciones

- Nuevo libro del Dr. Miguel Katz: TEMAS DE MECÁNICA CUÁNTICA registrado en el Sistema ISBN Argentino con el número: ISBN: 978-987-47159-5-1 y gentilmente prolongado por el Dr. Martín Negri

- Nuevo curso propuesto: Metodologías activas de enseñanza en Química – Dra. Sandra A. Hernández. La propuesta fue presentada en marzo de 2021 y será promocionado para dictarse a distancia durante el segundo semestre de 2021 en modalidad virtual.

DIVISIÓN DE JOVENES PROFESIONALES QUIMICOS

Responsable: Dr. Franco Cabrerizo.

Se trabajó en la realización de un número especial para la revista Anales de la Asociación Química Argentina Vol 107 (2) 2020.

Se dedicó una fuerte difusión de material didáctico a través de la red social Facebook; debido a la pandemia se vieron limitados a desarrollar más actividades.

Asimismo, a partir de agosto 2021, la División tiene un nuevo responsable que será el Lic. Gastón Villalba.

BIBLIOTECA Y SERVICIO DE INFORMACION

Director: Dr. Máximo Barón

Vicedirectora: Dra. Stella Maris Battista

Se continuó con las tareas habituales de la biblioteca,

provisión de documentos e ingreso de nuevas publicaciones.

Servicio de Información en Línea (SIL)

- Se continuaron ofreciendo búsquedas en bases de datos remotas (STN e Internet) y obtención de documentos en el

exterior.

- Se continuó colaborando con Secretaría y otros sectores de la AQA (Cursos, Anales, Congreso) y en la actualización y mantenimiento del sitio web de la Asociación.

Tabla 1: Cursos a distancia organizados en 2020 y 2021.

2020			
Fecha	Título	Duración	Docentes
14-9	Estadística aplicada al control de Calidad	3 semanas	Prof. Horacio Napolitano
5-10	Formación de Auditores Internos	3 semanas	Prof. Horacio Napolitano
26-10	Introducción a la sostenibilidad en química (Química Orgánica ecocompatible, catálisis y biomasa)	6 semanas	Dr. Gustavo Pablo Romanelli, Dr. Diego Manuel Ruiz
29 - 30-10	Problemática del uso de plaguicidas y estrategias y prácticas agroecológicas	2 días	Ing. Agr. Javier Souza Casadinho
3-11	Cálculo de Incertidumbre en Química Analítica	3 semanas	Prof. Horacio Napolitano
23-11	Introducción en Cromatografía de gases espectrometría de masa	3 semanas	Prof. Horacio Napolitano
23-11	Monitoreo de aguas de uso farmacéutico	3 semanas	Lic. Mónica Lagomarsino
1 - 3/12	Preparación de muestras	3 días	Lic. Silvia Trajtemberg
10-12/12	Introducción al cumplimiento GAMP v5 para validación de sistemas computarizados en entornos regulados	3 días	Farm. María Laura Borzone

2021			
8/3	Estadística aplicada al control de la calidad	3 semanas	Prof. Horacio Napolitano
15-3	Interpretación de Fichas de Seguridad de Productos Químicos (Sistema Globalmente Armonizado).	1 día	Lic. Graciela Egüés
22 -26/3	Gestión del riesgo biológico en el laboratorio SARS-CoV-2/COVID-19	4 días	Bioquím. Mayra Ameneiros
25 -26/3	Problemática del uso de plaguicidas y estrategias y prácticas agroecológicas	2 días	Ing. Agr. Javier Souza Casadinho
5/4	Planes de Muestreo para la aceptación - Muestreo por atributos (Norma Iram 15) y por variables	3 semanas	Prof. Horacio Napolitano
19/4	Plan de verificación, mantenimiento y calibración de equipos de laboratorio	3 semanas	Prof. Horacio Napolitano
22/4	Protección respiratoria en la Industria Química	1 día	Prof. Noelia Franzese, María C. Mariani y Natacha S. Baña
26/4	Introducción a la cromatografía líquida de alta resolución	3 semanas	Lic. Silvia Trajtemberg
3/5	Validación de métodos analíticos	3 semanas	Prof. Horacio Napolitano
13-14/5	Monitoreo microbiológico-ambiental en industria de alimentos	2 días	Biól. Alina del Mar Infante
27-5	Seminario Gestión de Packaging	2 día	Lic. Alicia Varela
20-5	Introducción al cumplimiento GAMP v5 para validación de sistemas computarizados en entornos regulados.	1 día	Farm. María Laura Borzone
31/5	Ruido y protección auditiva	1 día	Lic. María Carolina Mariani, Ing. Natacha Soledad Baña
7/6	Análisis causa raíz para el tratamiento de no conformidades	3 semanas	Prof. Horacio Napolitano

15/6	Introducción a la sostenibilidad en química (Química Orgánica ecocompatible, catálisis y biomasa)	6 semanas	Dr. Gustavo Pablo Romanelli, Dr. Diego Manuel Ruiz
21/6	Introducción a la Cromatografía de Gases	3 semanas	Prof. Horacio Napolitano
24/6	Introducción al cumplimiento de integridad de datos en ambientes regulados	1 día	Farm. María Laura Borzone
28/6	Introducción a la ergonomía y el teletrabajo	1 día	Lic. María Carolina Mariani, Ing. Natacha Soledad Baña
5/7	Cromatografía de Gases – Módulo Avanzado - Curso - Taller	3 semanas	Prof. Horacio Napolitano
15-16/7	Monitoreo Microbiológico-Ambiental en Industria de Alimentos	2 días	Biól. Alina del Mar Infante
21/7	Interpretación de Fichas de Seguridad de Productos Químicos (Sistema Globalmente Armonizado)	1 día	Lic. Graciela Egüés
22/7	Introducción al cumplimiento GAMP v5 para Validación de Sistemas Computarizados en entornos regulados	1 día	Farm. María Laura Borzone
26 al 28/7	Preparación de Muestras	3 días	Lic. Silvia Trajtemberg
2/8	Armado de un Sistema de Gestión de Calidad para Laboratorios Analíticos ISO-17025:2017 (Incluye Gestión y Análisis de Riesgo) - Curso - Taller	3 semanas	Prof. Horacio Napolitano
23 – 25/8	Introducción a la Química Radiofarmacéutica	3 días	Dr. José Luis Crudo
23 /8	Curso a Distancia - Introducción en Cromatografía Gases / Espectrometría de Masas -	3 semanas	Prof. Horacio Napolitano

Avance de las Obras de Modernización de la Nueva Sede de la AQA

Dr. Arturo Vitale

A los socios y amigos de la Asociación Química Argentina cumplimos en informarles sobre el estado de avance de las obras de construcción de la nueva sede en el mismo lugar, Sánchez de Bustamante 1749, donde funcionó la institución durante más de medio siglo. Haremos un breve repaso de las etapas que condujeron a la situación actual. Cumpliendo con la modernización decidida en la Asamblea Ordinaria y Extraordinaria del 20 de octubre de 2017 y refrendada por la Reunión Especial de Comisión Directiva del 13 de noviembre, realizada ante Escribano Público, se efectuó una operación inmobiliaria de permuta; la misma se escrituró el 15 de marzo del año

2018.

En virtud de esta operación un prestigioso estudio de arquitectura planificó y está construyendo en el lugar un edificio de 10 pisos y 2 subsuelos. A la AQA le pertenecen el 1º y 2º, con una superficie total de 300 m², equivalente a la superficie que tenía la sede original, a medida de nuestras necesidades. El primer piso constará de un salón de 150 m² y se le dará el uso que decida la Comisión Directiva; el segundo piso tendrá la estructura reforzada para alojar a la Biblioteca, Hemeroteca y oficinas. El edificio antiguo se entregó en junio del 2018, cuando la AQA se mudó temporalmente a la sede de la Sociedad Científica Argentina donde reside actualmente.

En el tiempo transcurrido entre Junio del 2018 y marzo del 2020, se desarmó el antiguo edificio, se excavaron los cimientos del nuevo y se construyeron los 2 subsuelos y se llegó al nivel de la calle, momento en que comenzaron las restricciones por la pandemia y se suspendieron las obras, como en todo el país. Cuando se reiniciaron las obras, se observó que las mismas avanzaron rápidamente, y continúan sin pausa, las fotos muestran el grado de avance de este año, ya vamos por el piso 7, así que esperemos que el año que viene podamos volver a Sánchez de Bustamante 1749 en una nueva sede y con una Asociación Química Argentina renovada.



Febrero 2021

Mayo 2021

Julio 2021

Septiembre 2021

Noviembre 2021

Innovación y Desarrollo: las Bases de una Propuesta única en el País para la Formación de Ingenieros en Agrobiotecnología

F. Cabrerizo¹ M.E. Llames¹

RESUMEN

Este artículo introduce una carrera única en el país, de alcance nacional, dictada en conjunto entre el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) y la Universidad Nacional de San Martín (UNSAM) que propone una alternativa de trabajo colaborativo y multidisciplinario basado en la interacción entre diferentes disciplinas y tecnologías.

CIENCIA, TECNOLOGÍA Y SOCIEDAD

La ciencia, sin dudas, ha sido un motor clave en el progreso de las sociedades y su adaptación a nuevos contextos. La humanidad, en su mayoría, vive más y mejor gracias a los múltiples desarrollos científicos y tecnológicos, que crecen a pasos agigantados. Hace casi 150 años apenas comenzábamos a conocer la energía atómica. A mediados del siglo pasado se dio a conocer la estructura molecular del ADN. La secuencia constitutiva del genoma humano fue publicada a

Instituto Tecnológico Chascomús (INTECH)- UNSAM-CONICET, Av. Intendente Marino Km. 8,2, Chascomús, Buenos Aires, Argentina.

principios de este siglo. Estos son solo tres ejemplos de los miles de descubrimientos científicos e inventos tecnológicos derivados.

Existe un amplio consenso sobre el rol de la tecnología como llave maestra para el desarrollo de las sociedades [1]. En especial, en aquellas sociedades como la argentina que cuentan con una fuerte primarización de sus economías, el conocimiento científico y el desarrollo tecnológico abren puertas para soñar con nuevos paradigmas. Permite, por ejemplo, movilizar la conversión de la matriz productiva hacia una basada en desarrollo científico y tecnológico. Brinda, a su vez, herramientas claves requeridas por los agentes tomadores de decisiones para

afrontar los desafíos actuales del desarrollo sostenible.

Sin embargo, para una correcta integración, los gobiernos y ciudadanos deben comprender el lenguaje de la ciencia y adquirir una cultura científica. La celeridad con la que progresa el conocimiento pone en relieve la necesidad de repensar y reformular la capacitación para la investigación y la innovación. Impone, además, la necesidad de proyectar nuevas profesiones y formas de cooperación con los sectores productivos, de servicios y centros de I+D, que reviertan en el bien de la comunidad.

“Las bases de la soberanía de un estado ya no son el nivel de vida, el producto interno bruto o la capacidad exportadora. Ni

siquiera su capacidad nuclear. El escenario mundial ha cambiado y son un pequeño grupo de tecnologías estratégicas las que aseguran la independencia real de las naciones (...)" (Manifiesto: Europa, potencia científica y tecnológica 2004

<http://www.tendencias21.net>).

Biotechnología como tecnología estratégica para el desarrollo nacional.

La biotecnología no es un sector en sí mismo, es una tecnología que plantea una nueva relación entre ciencia, innovación y producción. Basada en la biología, y adoptando conceptos y herramientas de múltiples disciplinas, esta tecnología resulta estratégica por su potencial para mejorar la productividad y generar un salto de competitividad en distintas actividades industriales entre las que se destacan alimentos, vacunas, medicamentos, diagnóstico, biocombustibles y otros insumos industriales. En la Argentina, el "Convenio de Diversidad Biológica", ratificado por ley N° 24.375 en 1994, define biotecnología como: "...toda aplicación tecnológica que utilice sistemas biológicos y organismos vivos o sus derivados, para la creación o modificación de productos o procesos para usos específicos" [2].

Recientemente se publicó en el Boletín Oficial de la República Argentina una nueva reglamentación a la Ley 26.270 de Promo-

ción del Desarrollo y Producción de la Biotecnología Moderna, sancionada en el 2007 (Decreto 284/2021) que reconoce a la biotecnología como una actividad clave para el desarrollo productivo de diversos sectores de la economía de Argentina.

En Argentina, las primeras empresas de base biotecnológica se desarrollaron tempranamente durante los años 80 con un escaso rezago con respecto de lo ocurrido internacionalmente [3]. Este desarrollo y la posibilidad de dominar tecnologías básicas moleculares, de producción y comercialización se dio gracias a la formación de recursos humanos en el área, la promoción de la innovación y el desarrollo productivo por parte del Estado y por la presencia de una industria nacional ávida de incorporar valor agregado a su producción. A lo largo de estos años, la actividad fue consolidándose como una plataforma productiva de uso en múltiples actividades.

Actualmente, de acuerdo con datos del segundo informe sectorial realizado por el Ministerio de Producción y Trabajo (2019), se registran cerca de 200 empresas de biotecnología en Argentina, dedicadas a una diversa gama de actividades, que van desde la producción de semillas a los medicamentos de uso humano, pasando por la fertilización humana asistida, la reproducción animal, el desarrollo de insumos

biotecnológicos para la industria y otras actividades. Este conjunto de empresas ubica a nuestro país en un lugar destacado a nivel internacional -posición 14 en cuanto al número de empresas biotecnológicas y 5tos de acuerdo al índice de ventaja comparativa revelada (VCR) estimado en base al cociente entre patentes del sector/total de patentes de cada país [4]. Para el caso argentino, la biotecnología aplicada a la producción agropecuaria tiene una particular importancia debido al perfil productivo – estrechamente ligado a los recursos naturales - y al desarrollo evolutivo previo de determinadas actividades y disciplinas científicas. Esto se refleja en el conjunto de empresas biotecnológicas vinculadas a la agroindustria que concentra al 57% del total de las firmas, de las cuales un 30% está dedicada a la Reproducción Animal, 23% a la producción de inoculantes; un 16% a semillas, 14% a Salud Animal y un 10% a Micropropagación Vegetal.

El potencial de la biotecnología es muy amplio, no sólo genera conocimiento científico y productivo, sino que también crea empleo calificado, desarrolla redes de cooperación entre universidades y empresas, y permite mejorar la calidad de vida de la población con nuevos productos y servicios de valor agregado. Desde el año 2000 se reconoce a la biotecnología moderna como instrumento para el desarrollo sostenible de la

agricultura, la pesca y la actividad forestal, así como de las industrias alimentarias. En particular, el gran desafío para la biotecnología aplicada a la producción agropecuaria argentina es contribuir a la solución de problemas concretos relacionados con la crisis alimentaria, energética y ambiental con desarrollo de tecnologías limpias, que respeten los bienes comunes naturales de forma tal de mantener la Seguridad y Soberanía Alimentaria para toda la población y asegurar que las personas tengan acceso a alimentos de calidad que les permitan llevar una vida activa y saludable.

INGENIERÍA EN AGROBIOTECNOLOGÍA (IAB): ORÍGENES Y ACTUALIDAD DE UNA CARRERA DEL FUTURO

En este marco, la Ingeniería en Agrobiotecnología (IAB) representa un hito clave en materia de formación de profesionales de excelencia y con la visión que esta nueva era requiere. Creada en 2012, IAB es una carrera única en el país dictada en cooperación académica entre la Universidad Nacional de San Martín (UNSAM) y el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) (<https://www.unsam.edu.ar/institutos/iib/254/iib/agrobiotecnologia>). La complementariedad de competencias entre ambas instituciones a nivel investigación, extensión y vinculación tecnológica resulta en

la formación de ingenieros altamente calificados, con capacidad de incorporar valor agregado al proceso de producción primaria de las actividades agropecuarias.

El punto de partida de la UNSAM con el INTA para pensar la Ingeniería en Agrobiotecnología fue una investigación que vinculó a ambas instituciones desde un trabajo de cooperación conjunta y que resultó en la presentación en 2011 del primer bovino bitransgénico –Rosita ISA-, llamada así en alusión al INTA y a San Martín. Este animal fue el primero en el país y en el mundo al que se le aplicó la tecnología de edición génica, a través de la cual se le incorporaron dos genes humanos que codifican para dos proteínas presentes en la leche humana de alta importancia para la nutrición de los lactantes.

En IAB los y las estudiantes cuentan con una carga diferencial en las áreas de matemáticas, química y física pero la singularidad del perfil lo da el hecho de formarse dentro de los laboratorios de investigación pertenecientes al Instituto Tecnológico Chascomús – INTECH (CONICET - UNSAM) – en la localidad de Chascomús, y del INTA Castelar, bajo la supervisión personalizada de los distintos docentes e investigadores que dictan las diferentes materias del currículo. En este contexto, los egresados son profesionales capaces de realizar estudios e

investigaciones orientadas a mejorar la productividad y calidad de organismos de interés agropecuario y en la acuicultura, así como también de realizar investigaciones tendientes a mejorar la producción de biofertilizantes, biopesticidas y biocombustibles. Por otro lado, la carrera también los forma para integrar equipos multidisciplinarios para el asesoramiento a productores agropecuarios y pesqueros, para el desarrollo de productos, tecnologías y/o proyectos de transferencia tecnológica dentro del área (Figura 1).

Dado que el dictado de los contenidos básicos de física, química y matemática no está contemplado en el currículo de la carrera, el esquema de ingreso propuesto requiere que los y las postulantes tengan aprobado un conjunto de materias de nivel universitario previo al ingreso. Estas materias corresponden al primer año de cualquier carrera universitaria afín -dictadas en cualquier institución universitaria reconocida del país. Del total de aspirantes que cumplan los requisitos se seleccionan 10 ingresantes en base a sus antecedentes académicos, el grado de superación en el examen de admisión y su desempeño en la entrevista personal, quienes recibirán una beca completa y disponibilidad de alojamiento tanto en el INTECH como en el INTA para dedicarse

de manera exclusiva a su formación profesional.

COOPERACIÓN ACADÉMICA COMO ESTRATEGIA PARA ENFRENTAR DESAFÍOS ACTUALES Y FUTUROS

El lugar que ocupa nuestro país en desarrollos biotecnológicos a nivel mundial da cuenta de nuestras capacidades científicas, empresariales y de nuestro potencial productivo. Esta relevancia cobra inusitada actualidad en el presente contexto del COVID-19, a partir del cual queda en evidencia que la formulación de soluciones viables y pertinentes requieren de investigación científica y tecnológica acompañados de

procesos de formación y aprendizaje que permitan dar capacidad de respuesta rápida a los grandes desafíos sanitarios y ambientales que enfrentamos como sociedad [5]. En este contexto, estas iniciativas de cooperación académica toman un rol protagónico como potentes generadoras de innovación social y tecnológica, tanto por la vía directa de la generación, transferencia y difusión del conocimiento, como también, de modo indirecto, a través del desarrollo de empresas de base tecnológica y el fomento de emprendimientos innovadores, sociales y tecnológicos que nos permiten abordar estos desafíos de manera multidimensional y con

una visión prospectiva de sus impactos a nivel local y global.

REFERENCIAS

- [1] López Cerezo, J. A. (2018). Ciencia, tecnología y sociedad. Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) – Paraguay. Disponible en <https://dSPACEVA.conacyt.gov.py/xmlui-epo/handle/123456789/641>
- [2] Ministerio de Salud de la República Argentina, Administración Nacional de Medicamentos, Alimentos y Tecnología Médica (ANMAT). Disponible en http://www.anmat.gov.ar/webanmat/fna/flip_pages/Farmacopea_Vol_I_/files/assets/basic-html/page430.html
- [3] Ministerio de Producción y Trabajo de la República Argen-



Figura 1: Espacios, laboratorios y actividades de campo

tina. Informe sectorial Nro. 2- Biotecnología. (2019). Disponible en:

https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/ioec_-_biotecnologia_25.03.19.pdf

[4] Papini V, Morinigo R (2020). "Inserción internacional con valor

agregado : experiencias exitosas de empresas biotecnológicas argentinas en los mercados asiáticos". Series Documentos de Trabajo / Observatorio América Latina-Asia Pacífico ; DT 007/20. ALADI : CAF : CEPAL (editores)

[5] Galdós M, Ramírez M y Villalobos P (2020). "El Rol de las Universidades en la Era de los Objetivos de Desarrollo Sostenible." Instituto de Innovación, Ciencia y Empresa: Madrid, España

Interdisciplinar en Ciencias: una Necesidad Contemporánea.

Sandra A. Hernández

RESUMEN

El abordaje interdisciplinario de los contenidos académicos se ha convertido en una necesidad para garantizar la preparación de las futuras generaciones, las cuales deberán desempeñarse en un mundo cada vez más complejo e interconectado. La Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible, insta a las Ciencias Naturales y a las Ciencias Sociales al diálogo y a la articulación conjunta, con una visión interdisciplinaria, con carácter científico-ambiental y un gran compromiso social para brindar soluciones a las problemáticas planteadas. La complejidad de los temas propuestos en los 17 Objetivos del Desarrollo Sostenible (ODS) y sus 169 metas da cuenta de la necesidad de que para dar solución a cada problemática converjan los saberes de varias disciplinas; una mirada en conjunto donde los profesionales implicados interdisciplinan colaborativamente en la solución de problemas comunes. La Agenda 2030 convoca y desafía a la formación en los distintos ámbitos educativos. En este artículo se pone en consideración la vinculación de los ODS entre sí y la importancia del enfoque interdisciplinar para su tratamiento.

INTRODUCCIÓN

El siglo XXI nos enfrenta a diario a la necesidad de innovar en una sociedad en permanente transformación, con nuevos escenarios y nuevos actores. En tal sentido, una innovación educativa contempla diversos aspectos tales como: didáctica, pedagogía, tecnología, procesos y personas. Implica la

Gabinete de Didáctica de la Química, Departamento de Química, Universidad Nacional del Sur (UNS); Instituto de Química del Sur (INQUISUR), UNS-CONICET, Av. Alem 1253, B8000CPB, Bahía Blanca, Buenos Aires, Argentina. E-mail: sandra.hernandez@uns.edu.ar

implementación de un cambio significativo en los procesos de enseñanza y de aprendizaje a través de una profunda revisión en los contenidos, los materiales y las metodologías involucradas de acuerdo al contexto y al grupo destino.

Si bien los planes de estudio de la formación profesional tienen un corte predominantemente disciplinar, el nuevo paradigma formativo insta al nuevo profesional a interactuar con otros saberes en los cuales no sea especialista. El abordaje interdisciplinario de los contenidos académicos se ha convertido en una necesidad para

garantizar la preparación de las futuras generaciones, las cuales deberán desempeñarse en un mundo cada vez más complejo e interconectado [1,2].

En la actualidad ha habido un incremento en la incorporación de abordajes interdisciplinarios en los procesos de enseñanza y aprendizaje en distintos ámbitos educativos. El Aprendizaje Basado en Proyectos, el enfoque Ciencia, Tecnología, Sociedad y Ambiente (CTSA), el enfoque STEAM (Science, Technology, Engineering, Arts and Math, en castellano: Ciencia, Tecnología, Ingeniería, Arte y Matemática) y

el Aprendizaje-Servicio (ApS), son algunas de las llamadas metodologías activas de enseñanza que permiten abordar proyectos áulicos interdisciplinarios de diferentes tipos, poniendo en consideración aspectos disciplinares, sociales y tecnológicos y favoreciendo el desarrollo de conocimientos, actitudes y valores [3-10].

Asimismo, la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible, insta a las Ciencias Naturales y a las Ciencias Sociales al diálogo y a la articulación conjunta, con una visión interdisciplinaria, con carácter científico-ambiental y un gran compromiso social para brindar soluciones a las problemáticas planteadas [11].

LA AGENDA 2030 PARA EL DESARROLLO SOSTENIBLE

“Transformar nuestro mundo: la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible” es el nombre del documento avalado de manera unánime por los líderes mundiales en la reunión realizada en septiembre de 2015 en la Sede de las Naciones Unidas, en Nueva York, en el marco del Septuagésimo Aniversario de la Organización[11].

La Agenda 2030 es el resultado de más de dos años de consultas públicas que incluyeron no sólo a representantes de gobiernos y autoridades sino que ha sumado las voces de toda la ciudadanía, prestando especial atención a la opinión de los más pobres y vulnerables.

El documento propone un conjunto de 17 Objetivos del Desarrollo Sostenible (ODS) y 169 metas, que conjugan las dimensiones económica, social y ambiental del desarrollo sostenible y que dan continuidad a los precedentes Objetivos de Desarrollo del Milenio (ODM) vigentes entre 2000 y 2015.

Un listado completo del detalle de los desafíos sociales, ambientales y económicos de cada uno de los ODS así como las metas de cada objetivo puede encontrarse en la página de Naciones Unidas [12].

La nueva agenda de la ONU es más extensa y va más allá de los 8 ODM, ampliando su campo de acción a otros aspectos más generales y decisivos. Es de esperar que a través de estos objetivos y sus metas se logre estimular, durante los próximos 15 años, la acción en ámbitos de importancia crítica para la humanidad y el mundo tales como: las personas, el planeta, la prosperidad, la paz y las asociaciones.

La Figura 1 muestra los pictogramas asignados a cada objetivo y compara la injerencia de los ODM, vigentes entre 2000 y 2015, frente a los ODS actuales, en cada uno de los cinco ámbitos de importancia crítica [13].

La Agenda, que entró en vigor el 1 de enero de 2016, aspira a que para el año 2030 hayamos situado al mundo y a sus sociedades en un camino hacia

un futuro mejor. Aquellos países que la adoptan, lo hacen considerando las diferentes realidades, capacidades y niveles de desarrollo, respetando sus políticas y prioridades nacionales.

La complejidad de los temas propuestos en los objetivos de la Agenda 2030 da cuenta de la necesidad de que para dar solución a cada problemática converjan los saberes de varias disciplinas; una mirada en conjunto donde los profesionales implicados interdisciplinan colaborativamente en la solución de problemas comunes. La Agenda 2030 convoca y desafía a la formación en los distintos ámbitos educativos.

LA VINCULACIÓN DE LOS ODS ENTRE SÍ.

LA IMPORTANCIA DEL ENFOQUE INTERDISCIPLINAR

- ODS 6 - Un ejemplo claro como el agua.

El agua como recurso, su potabilidad, su calidad y su accesibilidad es uno de los temas que más preocupa a nivel mundial y que ha adquirido aún más relevancia a raíz de la pandemia de Covid-19.

El ODS 6 aborda específicamente este tema y propone “Garantizar la disponibilidad y la gestión sostenible del agua y el saneamiento para todos”



Figura 1. Injerencia de los ODM, vigentes entre 2000 y 2015, frente a los ODS actuales, en cada uno de los cinco ámbitos de importancia crítica para la humanidad y el planeta (Fuente [13]).

Si bien el 70% de la superficie de la Tierra está cubierta de agua, solo un pequeño porcentaje, el 0,025%, es apta para el consumo humano. El agua es indispensable tanto para la vida humana como para el mundo animal y vegetal y es de gran injerencia en las sociedades, las culturas y los ecosistemas. Provee de servicios esenciales a

la población y es de vital importancia para reducir la pobreza, mejorar la salud de las personas, asegurar la alimentación y el desarrollo económico de las sociedades.

Villalba, Rivero y Guijarro en su publicación acerca de: Los derechos humanos al agua potable y al saneamiento en la

Agenda 2030, analizan la vinculación entre las metas del ODS6 específicamente vinculado al agua limpia y el saneamiento y los otros objetivos [14].

Destacan las alusiones explícitas realizadas en algunas de las metas de los objetivos ODS3 (Salud y bienestar), ODS4 (Educación de calidad), ODS11

(Ciudades y comunidades sostenibles), ODS12 (Producción y consumo responsable) y ODS15 (Vida de ecosistemas terrestres), tales como:

El ODS3 en la meta 3.3 refiere a “enfermedades transmitidas por el agua” y en la meta 3.9 a “muertes debidas a la contaminación del agua”.

El ODS4 en su meta 4.a.1 explicita “escuelas con acceso a saneamiento básico... e instalaciones básicas para lavarse las manos”.

El ODS11 en su meta 11.5 refiere a “muertes causadas por los desastres, incluidos los relacionados con el agua”.

El ODS12 en su meta 12.4 menciona la importancia de “reducir la liberación al agua de productos químicos y desechos”.

El ODS15 contempla la importancia del agua en sus metas 15.1 “conservación, restablecimiento y uso sostenible de ecosistemas interiores de agua dulce y humedales” y 15.8 “Efectos de especies invasoras en ecosistemas acuáticos”.

Si bien en los otros ODS no se hace una mención explícita, resulta innegable reconocer al agua como un recurso indispensable para la vida y que condiciona y atraviesa la Agenda en su conjunto e influye en la del resto de los ODS como se indica a continuación.

El agua y el saneamiento: disminuyen la vulnerabilidad y las

familias y mejoran sus ingresos (ODS1-Fin de la pobreza); aumentan la productividad laboral y el crecimiento económico (ODS8-Trabajo decente y crecimiento económico), propiciando la inclusión social y económica de los pobres (ODS5-Igualdad de género; ODS10-Reducción de desigualdades); mejoran el rendimiento escolar y disminuye el ausentismo (ODS4-Educación de calidad).

El agua es clave para la productividad agrícola y el procesado de alimentos (ODS2-Hambre cero) como así también para la innovación, la industria y la infraestructura (ODS9-Industria, innovación e infraestructura).

La producción de energía es altamente dependiente del agua (ODS7-Energía asequible y no contaminante) y el agua es clave en la adaptación al cambio climático y la resiliencia de las personas, actividades económicas y ecosistemas (ODS13-Acción por el clima).

También la reducción de contaminación marina y costera requiere mejoras en la calidad del agua (ODS14-Vida submarina).

Es importante la colaboración entre regiones y países que comparten recursos hídricos para evitar conflictos (ODS16-Paz, justicia e instituciones sólidas).

La relación del agua con todos los objetivos la hace un ámbito clave para fomentar alianzas y

cooperación (ODS17-Alianzas para lograr los objetivos).

Ahora bien, si tuviéramos que formar un equipo de trabajo que permitiera dar respuesta a los ODS y las metas que involucran la problemática del agua, ¿a quiénes convocaríamos?.

Indudablemente debería estar integrado por profesionales de la salud, de la educación, la química, la física, la biología, la oceanografía, la matemática, la geografía, la sociología, la ingeniería industrial, eléctrica, especialistas en ambiente, energías renovables, legislación, política, economistas...y podríamos seguir listando profesiones que involucran disciplinas que por sí solas no podrían dar respuesta a tales desafíos.

Como he mencionado anteriormente, la Agenda 2030 convoca y desafía a la formación en los distintos ámbitos educativos. Interpela a la Universidad en la formación de profesionales que sean capaces de trabajar colaborativamente en equipos interdisciplinarios, pero también demanda una educación inicial, primaria y secundaria que contemple estas características. La Educación para el Desarrollo tiene por objetivo ayudar a las personas a desarrollar actitudes y habilidades y adquirir conocimientos que les permitan tomar decisiones fundamentadas en beneficio propio y el de los demás, y a poner en práctica tales decisiones durante toda la vida.

**EL AGUA COMO EJE
TRANSVERSAL DE TRABAJO
INTERDISCIPLINAR EN
EDUCACIÓN SECUNDARIA.**

Las propuestas de enseñanzas interdisciplinarias, a través de los saberes coordinados y el Aprendizaje Basado en Proyectos, han sido sugeridas desde la dirección de Educación Secundaria de la Provincia de Buenos Aires como metodologías recomendadas en la construcción y evaluación de los procesos de aprendizaje del estudiantado [15].

Los proyectos interdisciplinarios representan un gran desafío para los equipos docentes. Si bien en la actualidad existe una gran variedad de metodologías de trabajo por proyectos y en interdisciplina, existen cuatro ítems fundamentales a tener en cuenta a la hora de involucrarnos en un proyecto interdisciplinar: a) la elección del tema o la problemática a tratar; b) el análisis de los contenidos curriculares; c) la planificación de las actividades y d) la evaluación. Todos estos aspectos deben ser analizados en conjunto y de manera colaborativa por las disciplinas dispuestas a interactuar.

De manera de contribuir al desarrollo de contenidos significativos e integrados, estudiantes y docentes de 1er año A y B de la Escuela San Cayetano de la ciudad de Bahía Blanca

realizaron el abordaje curricular del tema El agua, como eje transversal de un proyecto interdisciplinar que involucró las asignaturas Prácticas del Lenguaje, Matemática y Ciencias Naturales en el proyecto “El agua potable, un recurso a cuidar” [16].

La Figura 2 muestra el mapa curricular del plan de estudios de primer año de Educación Secundaria, de acuerdo al Diseño Curricular vigente en la Provincia de Buenos Aires [17]. Allí se muestran los contenidos que las docentes de las tres asignaturas coordinaron para desarrollar a lo largo del proyecto. Cada asignatura destinó 12 módulos para el desarrollo de las actividades pautadas.

En el área de Química, en el ítem “El agua” se lograron trabajar:

- Características físicoquímicas del agua (en un trabajo de articulación con la Universidad).
- Etapas del ciclo del agua: evotranspiración (evaporación del agua + transpiración de las plantas), condensación, precipitación de granizo o nieve, escorrentía e infiltración.
- Distribución de las fuentes de agua en el planeta. Diferentes tipos de agua: pura, destilada, potable, de red, mineral natural, y mineralizada.
- Etapas que conlleva la potabilización del agua.

Todo lo realizado en clase, las discusiones, las consignas y las preguntas guía propuestas por las docentes, quedaron registrados en las carpetas del estudiantado a modo de proyecto interdisciplinar.

**ODS 3 - LA EDUCACIÓN
SEXUAL INTEGRAL (ESI)
FRENTE A LA PROBLEMÁTICA
DE LAS ADICCIONES.**

Otra interesante propuesta que involucra el ODS3- Salud y bienestar, fue llevado a cabo a través de un Proyecto Educativo Institucional (PEI) en el Colegio Martín Miguel de Güemes de la ciudad de Bahía Blanca. El proyecto buscó vincular contenidos de los diseños curriculares de las diferentes áreas con la Educación Sexual Integral (ESI) a través de distintas acciones. En líneas generales, la institución propuso dentro del PEI un cronograma de acciones para el desarrollo del proyecto que incluyeron: una semana para la presentación de actividades a desarrollar por parte de cada curso; un mes para el abordaje y tratamiento áulico de las temáticas planificadas y una semana para la sociabilización y reflexión de lo trabajado con otros cursos de la institución. Las docentes a cargo de las asignaturas Introducción a la Química, Sociología, Política y

Ciudadanía y Matemática trabajaron de manera conjunta en la problemática de las adicciones con la finalidad de atravesar las ESI desde los contenidos curriculares asignados a 5to año de Educación Secundaria con una mirada interdisciplinar. Se consideró el contenido curricular alcoholes como eje transversal de trabajo de las distintas miradas abordadas por las disciplinas, propiciando espacios de reflexión que correlacionaran aspectos químicos, culturales, jurídicos y estadísticos [18].

En líneas generales la experiencia fue altamente satisfactoria. Se cumplieron los requerimientos institucionales de trabajar de manera significativa, por medio del Proyecto de Educación Sexual Integral, un tema tan importante como el consumo de alcohol en la adolescencia. Se logró el abordaje interdisciplinar de la ESI el cual permitió generar espacios de trabajo colaborativo entre docentes de distintas asignaturas y sus estudiantes, aportando una visión y una comprensión más integral del

tema, el cual fue abordado desde distintos puntos de vista.

REFERENCIAS

[1] M.A. Blesa, La Industria Química y la Contaminación: Evolución de la Producción de Soda Solvay

<https://aargentinapciencias.org/grandes-temas-ambientales/la-industria-quimica-pesada-y-la-contaminacion-evolucion-de-la-produccion-de-soda-solvay/>

[2] Bussard, Dubois, Leçons élémentaires de chimie.djvu/68.

<https://fr.wikisource.org/wiki/Page:>

Estructura de los contenidos		
Materia	Ejes temáticos	Núcleos de aprendizaje
Ciencias Naturales Química	Los materiales y sus transformaciones	Los materiales y sus propiedades. Las mezclas. El agua
	Geometría y magnitudes	Cuerpos. Figuras regulares. Lugar geométrico. Medida. Perímetro. Área. Volumen.
Matemática	Números y operaciones	Operaciones con números naturales. Divisibilidad. Números racionales positivos.
	Introducción al Álgebra y al estudio de las Funciones	Lectura, interpretación y construcción de gráficos y tablas. Proporcionalidad. Introducción al trabajo algebraico.
	Probabilidad y estadística	Fenómenos y experimentos aleatorios. Estadística y probabilidad.
Prácticas del Lenguaje (PL)	PL en el ámbito de la literatura	Leer literatura.
	PL el ámbito del estudio	Buscar información. Registrar, posicionarse críticamente y organizar información para construir el conocimiento Dar cuenta de los conocimientos adquiridos.
	PL en el ámbito de la formación ciudadana	Interactuar críticamente con los medios masivos de comunicación. Interactuar críticamente con las instituciones.

Figura 2. Mapa curricular del plan de estudios de 1er año de educación secundaria para Ciencias Naturales – Química, Matemática y Prácticas del Lenguaje. (DGCyE, 2006, pp. 21 – 22.)

Bussard,_Dubois

[1] Lenoir, Y. (2013) Interdisciplinariedad en educación: una síntesis de sus especificidades y actualización. *Interdisciplina I*, 1,51-86.

[2] López, L. (2012) La importancia de la interdisciplinariedad en la construcción del conocimiento.

En: *Revista Sophia: Colección de Filosofía de la Educación*. Nº 13. Quito: Editorial Universitaria Abya-Yala.

[3] Domènech-Casal, J. (2018) Comprender, Decidir y Actuar: una propuesta de marco para la Competencia Científica para la Ciudadanía. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 15(1), 1105. doi: 10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2018.v15.i1.1105

[4] Sanmartí, N. y Márquez, C. (2017). Aprendizaje de las ciencias basado en proyectos: del contexto a la acción. *Ápice. Revista de Educación Científica*, 1(1), 3-16. DOI: <https://doi.org/10.17979/arec.2017.1.1.2020>

[5] Solbes, J. y Vilches, A. (2004). Papel de las relaciones entre ciencia, tecnología, sociedad y ambiente en la formación ciudadana. *Enseñanza de las Ciencias*, 22(3), 337-348.

[6] Sbarbati Nudelman, N. (2015), Educación en ciencias basada en la indagación. *Revista Iberoamericana de Ciencia, Tecnología y Sociedad - CTS*, 10(28), 1-10.

[7] Domènech-Casal, J. (2018). Aprendizaje Basado en Proyectos en el marco STEM. Componentes didácticas para la Competencia Científica. *Ápice. Revista de Educación Científica*, 2(2), 29-42. DOI:

<https://doi.org/10.17979/arec.2018.2.2.4524>

[8] Álvarez, A. y Villareal, M.E. (2019). Integración interdisciplinaria en el aprendizaje-servicio: un modelo para la gestión de proyectos en la educación superior. *RIDAS, Revista Iberoamericana de Aprendizaje Servicio*, 8, 96-105.

DOI: 10.1344/RIDAS2019.8.5

[9] Alonso J. A. (2018). Universidad: Investigación e innovación al servicio de la Agenda 2030. En: *El papel de la Universidad Iberoamericana en la Agenda 2030*. (2018). Seminario de la SEGIB. Salamanca. Febrero 2018. Disponible en:

<http://www.ocud.es/agenda2030/es/files/doc39/documento-conferencia-universidades-segib.pdf>

[10] Ochoa Cervantes, A.; Pérez Galván, L. M.; Salinas, J. J. (2018). El aprendizaje-servicio (ApS) como práctica expansiva y transformadora. *Revista Iberoamericana de Educación*, 76, 15-34 - OEI/CAEU.

[11] Asamblea General de las Naciones Unidas. (25 de septiembre de 2015). *Transformar nuestro mundo: la Agenda*

2030 para el Desarrollo Sostenible. Disponible en:

https://unctad.org/system/files/official-document/ares70d1_es.pdf

[12] *Objetivos de Desarrollo Sostenible - ODS* (2015). ONU, Nueva York. Disponible en:

<https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>

[13] PikPng (s.f.) Ilustración Objetivos de Desarrollo del Milenio - Global Goals Clipart. Recuperado de:

<https://www.pikpng.com/transpng/hTTwoiR/>

[14] Villalba, A., Rivero, M. y Guijarro, A. (2016). Los derechos humanos al agua potable y al saneamiento en la Agenda 2030. UNESCO Etxea y ONGAWA. Disponible en:

https://www.unescoetxea.org/dokumentuak/dossier_agua_agenda2030.pdf

[15] "Marco de Organización de los Aprendizajes para la Educación Obligatoria Argentina" (MOA) Resolución CFE Nº 330/17 (2017) Secretaría de Innovación y Calidad Educativa Secundaria Federal 2030. Ministerio de Educación. Presidencia de la Nación. Disponible en:

<https://www.argentina.gob.ar/educacion/secundaria-federal-2030/acerca-de>

[16] Hernández, Sandra A.; Pelaez, María Paula; Peralta, María Celia y Junca, Stella Maris (2020) "Aprendizaje basado en proyectos: el agua como eje transversal de trabajo interdisciplinar" *Novedades Educativas*, N° 354, junio 2020, pp. 44-51. Centro de Publicaciones Educativas y Material Didáctico SRL. ISSN: 0328-3534.

[17] DGCyE (2006). *Diseño Curricular para la Educación Secundaria: 1º año ESB – Coord. A. Zysman y M. Paulozzo - 2da ed - La Plata: Dir. General de Cultura y Educación de la Provincia de Buenos Aires.*

[18] Pelaez, María Paula; Hernández, Sandra A.; Gatti, Martina; Montangie, Rita A. y Pividori, Marisa E. (2020) "La ESI

frente a la problemática de las adicciones" *Novedades Educativas*, N° 352, abril 2020, pp. 50-54. Centro de Publicaciones Educativas y Material Didáctico SRL. ISSN: 0328-3534.

Santiago del Estero Comunica su Ciencia. ¿Experimentando una Tarea Trivial?

Gaston F. Villalba* y Ana Carolina Santacruz García

RESUMEN

La comunicación es una pieza fundamental en el trabajo científico diario, y es transversal a lo largo de todas las etapas de la investigación, y no solo está enfocada en el compartir los datos con los colegas o pares investigadores. Con este punto de partida se analizan la importancia de la comunicación de la ciencia como proceso de presentación de la información científica en la sociedad, reflexionando al respecto del acercamiento entre ciencia y sociedad, y del ejercicio profesional en la adaptación del lenguaje y en la búsqueda de las mejores vías para comunicar. Por otro lado, desde una perspectiva cronológica se discute la evolución de la comunicación científica en términos institucionales en la Argentina. Reflexionando acerca de las políticas y estrategias de descentralización y federalización de la ciencia en Argentina, se presentan y describen un conjunto de actividades desarrolladas en la provincia de Santiago del Estero, a través del Laboratorio de Antioxidantes y Procesos Oxidativos (LAPOx) y de la colectividad de comunicación científica con perspectiva de género "Amautas Huarmis".

¿POR QUÉ COMUNICAR CIENCIA?

El panorama mundial actual, y la necesidad de la población a acceder de manera continua a información acerca de los avances científico-tecnológicos, reimpulsó la necesidad, siempre existente y quizás algo olvidada del acercamiento de la ciencia al público y viceversa.

Si bien se ha popularizado y en muchos casos discutido hasta el

hartzago de la percepción restringida que evidencian tanto "científicos" como "no-científicos" sobre el nexo entre ciencia y sociedad, en la actualidad este enfoque se vio "caído" producto de una gran masa crítica de estudios de diferentes especialistas en la temática, permitiendo vislumbrar el enfoque de que es imposible concebir la ciencia sin que haya comunicación y transmisión de conocimientos [1,2]. De este modo, es importante destacar el rol clave

que cumple la comunicación como un aspecto esencial a la naturaleza y práctica de las ciencias.

La comunicación es uno de los pilares fundamental en el trabajo científico, ya que no solo implica el comunicar los resultados entre pares, sino que además sirve de puntal en el conocimiento de trabajos anteriores para formular propuestas y metodologías de investigación. Además durante la fase experimental, la comunica-

ción e intercambio de opiniones y datos con los pares es una parte esencial. Por lo tanto, al reflexionar sobre el trabajo diario del científico, queda más que claro que la comunicación está presente en todas las etapas de la investigación.

Si bien la comunicación es transversal en el trabajo científico a lo largo de todas las etapas de la investigación, es importante replantearse puertas adentro del sistema la cuestión de ¿Por qué, para qué y para quién sirve investigar?, es decir ¿Se comparten o no los hallazgos? ¿Se los da a conocer? Comunicar la ciencia excede las cuatro paredes de los laboratorios o de una sala de conferencias, y va más allá de exponer metódicamente los resultados de las investigaciones. El conocimiento científico tiene como característica propia el ser público y consensado, y es por ello que la ciencia debe ser comunicable, y en base a esto es posible de pensar que si un cuerpo o conjunto de conocimiento no es comunicable, entonces por definición no sería científico. La comunicabilidad es por lo tanto una condición necesaria para la verificación de los datos empíricos y de las hipótesis científicas. Bajo este contexto

Laboratorio de Antioxidantes y Procesos Oxidativos (LAPOx), Instituto de Ciencias Químicas (ICQ), Fac. de Agronomía y Agroindustrias (FAyA), Univ. Nac. de Santiago del Estero (UNSE). RN 9, Km 1125 (CP 4206), Villa El Zanjón, Santiago del Estero, Argentina.

E-mail: gfv_3091@hotmail.com
gfvillalba@unse.edu.ar

podríamos por lo tanto definir a la comunicación de la ciencia como el proceso de presentación de la información científica en la sociedad [3].

Comunicar las investigaciones y los avances científico-tecnológicos entre la población general es tan importante como compartir los datos con los colegas o pares investigadores. Se debe de valorar indistintamente el comunicar la ciencia, tanto en el universo académico, como en la población general, ya que esto no solo implica ser un acercamiento a la sociedad, sino además un ejercicio y desafío profesional en el que se debe de "adecuar" el lenguaje y buscar los mejores canales o vías para hacerlo. De este modo por ejemplo, si la población conoce los avances de la investigación en cuidados sanitarios, identificará las áreas en las que puede mejorar su calidad de vida de manera más eficaz, pero para alcanzar este cambio, es un requisito fundamental presentar la investigación de una manera atractiva.

Ante esta perspectiva es imprescindible incorporar y discutir el concepto de divulgación científica, el cual se define como el conjunto de actividades que interpretan y hacen accesible el conocimiento científico al público general, es decir, contempla a todas aquellas actividades o acciones que llevan el saber científico a las personas interesadas en entender o informarse de ese tipo de conocimiento. La

divulgación pone su interés no sólo en los descubrimientos científicos del momento, sino también en teorías establecidas o aceptadas socialmente (considerando como ejemplo, la teoría de la evolución) o incluso en campos enteros del conocimiento científico [4].

La concepción de la divulgación científica nos permite vislumbrar la gran diferencia entre la acción de informar y la de comunicar, ya que comunicar es mucho más que informar; e incluso se puede informar (dar noticia o relatar algo) sin comunicar. Ante esto, para comunicar se considera necesario ser capaz de transmitir adecuadamente el mensaje y compartir los conocimientos con el público general o "no especializado", poniéndolo a un nivel de asimilación adecuado. Es por ello, que la divulgación es el mecanismo natural por el cual es posible extender los conocimientos a un público no especialista. A partir de esto, la comunicación no debería ser pensada y diseñada como un suministro de información unidireccional, sino más bien como una oportunidad de poner ideas en común [3].

En los últimos años el concepto divulgación científica está recibiendo otras denominaciones, tales como: comunicación científica pública o comunicación pública de la ciencia, popularización de la ciencia o comunicación social de la ciencia. Recordando que el conocimiento científico

tiene como fundamentos el ser cierto y probado, con el fin de aportar nuevas ideas, debe de ser provechoso o útil para el progreso de la sociedad, por lo tanto, sea cual fuere el término que se utilice en el marco de la divulgación científica, no se debe olvidar que la sociedad es el fin último del trabajo científico y es a la sociedad a la que de forma directa o indirecta va dirigido [5,6].

El fin de alfabetizar científicamente a las sociedades, es sembrar las semillas para provocar un mayor interés de las poblaciones por la investigación y sus logros; evocando la idea de reducir las reacciones negativas y ciertas veces poco justificadas que provocan estos avances. Es por esto que la divulgación tiene una significancia importante ya que capacita a las ciudadanas y ciudadanos para que puedan opinar, con conocimiento de causa, y si ello fuese necesario, en decisiones de política científica que a todos nos afectan. La alfabetización, lejos de ser un lujo o utopía, es una urgente necesidad en la que se avanza lentamente [7,8].

¿DESDE CUÁNDO ARGENTINA COMUNICA SU CIENCIA?

Reflexionando un poco en términos cronológicos, los problemas referidos a la ineficacia o escasa implementación de estrategias de divulgación aparecen en general vinculados a los

Estados, que no presentan (o son en general ineficientes) políticas para incentivarla, o bien a los medios de comunicación que quitan del foco de interés a las temáticas científicas, como así también a las poblaciones, a las cuales no le resulta útil o cercano el conocimiento científico. Estos preconceptos acerca de la funcionalidad y correlación entre la ciencia, los medios, el Estado, y la sociedad, derivan en la necesidad urgente de plantear la pertinencia de la comunicación para analizar, promover y potenciar el vínculo de estas cuatro piezas [9].

En la actualidad (y aún más por el contexto actual que transitamos), existe una coincidencia general en la importancia que se le asigna al acercamiento de la ciencia al público y viceversa. El fortalecimiento de este vínculo se ve traducido, entre otros aspectos, en la implantación y desarrollo de la profesionalización del periodismo científico, como así también por la creación de posgrados vinculados a la comunicación pública de la ciencia, y sin dejar de lado las diversas publicaciones, programas y encuentros académicos preocupados por la temática. Por otro lado a nivel institucional las universidades nacionales han estructurado áreas puntualmente abocadas a esta tarea, como así también el Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET) abrió líneas

de financiamiento específicas y el Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación productiva (MINCyT) trabaja de manera continua en la creación de áreas y espacios enfocados en la divulgación, con el objetivo de “acercar a la población los conocimientos producidos por el quehacer científico-tecnológico y sus aplicaciones, incentivando la participación y la apropiación social del conocimiento” [10,11].

Este panorama anteriormente descrito, no siempre fue así ni es algo consolidado, y constituye un proceso de permanente construcción y discusión. Durante varias décadas, según diversos autores, predominó un modelo de déficit cognitivo, el cual concebía al proceso de comunicación científica como la transmisión de información desde un sujeto que dispone de un determinado conocimiento (el científico individual o la comunidad científica como comunidad) a otro que carece de él (el público lego). Esta concepción ha sido ampliamente cuestionada, y si bien se han propuesto alternativas superadoras basadas en un giro etnográfico desde fines del siglo XX, el modelo de divulgación continúa vigente y en continua discusión, por lo que algunos investigadores en el área indican que este modelo aún predomina en muchas instancias y experiencias [10].

En Iberoamérica, el interés por la comunicación científica comienza a aparecer y tomar lugar en la década de los 80, y en consonancia a esto, en Argentina las primeras instituciones dedicadas a esta área tal como el Centro de Divulgación Científica y Técnica (CyT) del Instituto Leloir comienzan a aparecer en estos años [12]. Desde este punto de partida y bajo la órbita del Ministerio de Educación y diversas secretarías y entes descentralizados (como CONICET, la Comisión Nacional de Energía Atómica, y la Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica), el crecimiento de la comunicación científica en Argentina continuó y se vio consolidado institucionalmente con la creación del MINCyT en el año 2007. Acorde a estas políticas, las publicaciones en el área de comunicación pública de la ciencia comenzaron a visibilizarse, registrándose por ejemplo un primer libro sobre la "Historia de la divulgación científica en la Argentina" en el año 2012 [9]. Ante este contexto, es posible decir que el desarrollo de la actividad científica Argentina se vio marcado por las políticas científicas impuestas desde el estado en los distintos períodos de su historia, las cuales dejaron su huella en la divulgación científica en nuestro país. Además, es indiscutible que ambos desarrollos estuvieron y están insertos en el contexto mundial de los acontecimientos.

¿QUÉ ANTECEDENTES DE COMUNICACIÓN CIENTÍFICA HAY EN SANTIAGO DEL ESTERO?

Producto de varias décadas de crisis institucional, acompañada de ineficientes políticas públicas de educación, ciencia y tecnología, las poblaciones rurales, y en particular aquellas del noroeste argentino (región NOA), fueron muy relegadas en cuanto al acercamiento a los ámbitos científicos y a experiencias que les permitieran explorar y revalorizar sus conocimientos [13]. Durante los últimos años, y en particular desde la creación del MINCyT, se visibilizó el avance y desarrollo en el área de ciencia y tecnología, acompañada por políticas de descentralización y federalización, lo cual, junto al uso de las nuevas tecnologías en información y comunicación han fomentado la participación y un mayor acercamiento tanto de habitantes rurales como periurbanos en actividades orientadas hacia la recolección de información y la comprensión de los procesos naturales. El gran desafío actual, sigue siendo el fomentar en la ciudadanía la cultura científica vinculada activamente con las problemáticas locales, y su participación voluntaria en la recolección, procesamiento y difusión de los resultados, reafirmando y respetando los conocimientos culturales propios con los que como población cuentan.

Las experiencias desarrolladas tanto en Argentina como en el mundo, revelan un mayor interés de las y los docentes hacia la implementación y/o adaptación de actividades prácticas en sus programas curriculares, junto a un incremento en la motivación por parte de las y los estudiantes por la investigación científica. Las principales actividades se inclinan hacia una deconstrucción de la imagen preestablecida en el inconsciente colectivo sobre "los científicos", cuyos estereotipos inclinan la balanza hacia hombres blancos de edad avanzada como copias repetidas de Albert Einstein. De hecho, uno de los grandes desafíos de la comunicación científica hoy, es deconstruir los estereotipos culturales alrededor de la ciencia y generar nuevos espejos donde las personas puedan reflejarse [14].

Respecto a ello, en la provincia de Santiago del Estero se han desarrollado durante los últimos años algunas experiencias en comunicación pública de la ciencia, en las que se ha promovido la participación e interacción con público no especializado de distintas edades. Como ejemplo de esto se encuentra la activa participación en la Semana Nacional de la Ciencia y la Tecnología promovida por el MINCyT desde el 2017, por parte de algunos institutos de la Universidad Nacional de Santiago del Estero (UNSE). En este sentido, el Laboratorio de Antioxidantes y

Procesos Oxidativos (LAPOx) del Instituto de Ciencias Químicas de la Facultad de Agronomía y Agroindustrias (FAyA – UNSE) ha desarrollado experiencias con estudiantes de escuelas secundarias de las ciudades de Santiago del Estero, La Banda y Fernández. En una primera etapa, se realizó un ciclo de charlas de divulgación científica titulado “Hablando de Ciencia en Santiago del Estero” en la que varios integrantes del LAPOx relataron sus anécdotas y experiencias como tesistas e investigadores, e invitaban a las y los asistentes a sumergirse en el mundo de la investigación científica. Posteriormente, se desarrolló el taller de actividades prácticas “Viajando por el interior de un laboratorio científico” en los laboratorios del instituto. En dicha actividad participaron casi 100 estudiantes acompañados por sus respectivos docentes. En el marco de esta actividad las y los estudiantes del nivel secundario participaron activamente en el desarrollo de prácticas de laboratorios, diseñadas por el equipo del LAPOx, utilizando productos naturales y especies nativas de la región. Estos talleres fueron en muchos casos las primeras experiencias para las y los estudiantes dentro de un laboratorio y del universo científico, y producto de ello los docentes se contactaron en un futuro, no solo agradeciendo la motivación generada en las y los

estudiantes sino solicitando apoyo o acompañamiento en la adaptación de estas y otras prácticas, dado el insistente pedido de parte de las alumnas y alumnos por hacer ciencia.

Adicionalmente, en 2017 se gestó en la provincia, la colectividad de comunicación científica con perspectiva de género “Amautas Huarmis” (mujeres sabias, en quechua), en consonancia con el crecimiento del movimiento feminista del momento. Esta colectividad está conformada por mujeres relacionadas a distintas áreas del conocimiento dentro de las STEAM (acrónimo de los términos en inglés Science, Technology, Engineering and Mathematics) y cuentan con experiencia en ámbitos locales y educativos no formales con el objetivo de promover vocaciones científicas de jóvenes, niñas y niños, a través de la realización de talleres lúdicos, concursos y espacios de debate y disertación. Algunas de las actividades realizadas por este equipo de mujeres son los proyectos “Manos a la Ciencia”, “Cientichicas de mi país”, “Birreando Mitos” y actualmente el concurso de microrrelatos “Grandes mujeres en pocas palabras”. El desarrollo de estas actividades ha permitido despertar vocaciones científicas desde temprana edad así como promover la participación de toda la población en este ámbito, ya que en dichos proyectos ha

participado público de todas las edades. Además, se generaron espacios de debate sobre género, feminismos, equidad y empoderamiento femenino, muy necesarios en el contexto actual. Actualmente esta colectividad es de carácter binacional y realiza actividades en Colombia también.

¿LA COMUNICACIÓN CIENTÍFICA ES UNA TAREA TRIVIAL?

Antes de contestar este interrogante, es necesario preguntarse ¿cuál es el público interesado en la ciencia hoy en día? Y para ello es necesario discutir el triángulo ciencia, comunicación y sociedad, en la que esta última se convierte en la principal interlocutora de la ciencia, hacia quién van dirigidos los beneficios de los descubrimientos y hallazgos científicos y de dónde surgen los principales interrogantes en los que la ciencia muestra su máximo esplendor. Relación que aunque parece evidente, suele ser olvidada.

Al referirse sobre la popularización de las ciencias, ésta se suele asociar con un “menosprecio” de la actividad científica tanto por quienes hacen ciencia como por quienes la patrocinan. Este menosprecio surge de la raíz de la palabra: “lo popular”. Y es que lo popular, nos lleva a lo “ordinario”, lo “común”, todo lo opuesto a la torre de marfil en la que solemos poner a “los científicos”. Esto inevitablemente nos

lleva a asociar a quienes promueven la democratización y divulgación del conocimiento, con tareas triviales, en las que se reduce y simplifica la complejidad del conocimiento científico, al punto de transgredir los pilares sobre los que se ha construido la ciencia a lo largo de la historia. Por lo general, la divulgación científica suele ser considerada como una tarea menor dentro de las tareas de la ciencia.

Sin embargo, esta controversia olvida un punto fundamental, cada vez hay más participación de la ciudadanía en la ciencia, y esto no ha disminuido la "calidad" de la impronta científica. Los espacios generados por Diego Golombek y Adrián Paenza, entre otros, han motivado la participación de una ciudadanía cada vez más involucrada e interesada por sus avances científicos. De hecho, ha permitido redescubrir que la ciencia termina de tener sentido, sí es que se comunica. Por tal motivo, aunque aún sea una tarea titánica, merece un

esfuerzo su realización, ya que la sociedad lo necesita, al fin y al cabo, la ciencia tiene que ser para todas y todos, ¿no?

REFERENCIAS

- [1] D. Cazaux, *Rev. Luciérnaga*. 2011, 3 (6), 1–5.
- [2] C. Mazzaro, *PSIENCIA. Rev. Latinoam. Cienc. Psicológica*. 2010, 2 (2), 122–127.
- [3] M. Sanz-Lorente, R. Guardiola-Wanden-Berghe, *Hosp. a Domic.* 2019, 3 (2), 173.
- [4] A. Pérez-Benítez, *Educ. Quim.* 2011, 22 (4), 292–299.
- [5] L. Massarani, *J. Sci. Commun. América Lat.* 2018, 01 (01), A01.
- [6] T. Pérez Bustos, *Interciencia*. 2009, 34 (11), 814–823.
- [7] G. Gellon, E. Feher, M. Furman, D. Golombek, *La Ciencia En El Aula: Lo Que Nos Dice La Ciencia Sobre Cómo Enseñarla* 2005.
- [8] M. F. Melgar, A. C. Chiecher, P. V. Paoloni, F. Defendi, *Comu-*
- nicación Pública de La Ciencia: ¿Cómo Lo Hacemos Nosotros y Cómo Lo Hacen Otros?*, 1st ed., UniRío Editora. Universidad Nacional de Río Cuarto, Río Cuarto 2019.
- [9] D. Cazaux, *Historia de La Divulgacion Científica En La Argentina*, Teseo; Asociación Argentina de Periodismo Científico, Buenos Aires, Argentina 2010.
- [10] R. Camaño Semprini, G. F. Carini, M. R. Carbonari, *Context. Educ.* 2018, 24, 66–78.
- [11] R. L. Albarenque, M. V. Walz, *Rev. la Esc. Ciencias la Educ.* 2015, (9).
- [12] E. Belocopitow, *Redes*. 1998, V (11), 141–163.
- [13] A. Niembro, *Ciencia, Docencia y Tecnol.* 2020, 31 (60 may-oct), 01–33.
- [14] Donna Nelson, *C&EN Glob. Enterp.* 2016, 94 (25), 34–34.

El Camino al Congreso Internacional de Química en Karlsruhe de 1860. El Nacimiento de la Química Moderna

Alberto L. Capparelli

RESUMEN

En la historia de la Química siempre han existido controversias entre prestigiosos académicos, cuya superación condujeron a nuevos avances en la disciplina. La presente contribución no es completa para describir la densidad de hechos y discusiones entre los científicos hasta la mitad del siglo XIX, y solo se centra en los actores que tuvieron un papel significativo en el campo de la química.

Hacia mediados del siglo XIX, se concluyó que había llegado el tiempo para establecer criterios cuantitativos para superar las diferencias y contraposiciones entre las autoridades académicas activas en este campo de la ciencia.

Entre el 3 y el 5 de setiembre de 1860 tuvo lugar el Primer Congreso Internacional de Química, impulsado por personalidades como A. Kekulé, A. Wurtz y S. Cannizzaro donde, si bien no se alcanzaron resultados concretos, permitió reunir en la ciudad de Karlsruhe, Alemania, a las mentes más despiertas de Europa. Se puede afirmar que este Congreso fue la base del desarrollo de la química moderna.

BREVE HISTORIA DEL DESARROLLO DE LA QUÍMICA HASTA 1800

Como un adolescente, la química experimentó una serie de etapas en su desarrollo hasta alcanzar la madurez para convertirse en una disciplina central en el campo científico.

No cabe la menor duda del papel desplegado por los alquimistas, que en su búsqueda espiritual para convertir cualquier metal en oro condujo al descubrimiento de

nuevos compuestos y elementos químicos.

El concepto de elemento químico como tal, no existía en esas culturas, a excepción de los cuatro elementos introducidos (principalmente) por los filósofos griegos, describiendo sus propiedades características:

1. Agua, introducido por Tales de Mileto (639 ó 624 – 547 o 546 a.C). La idea del agua como elemento esencial fue compartido por los filósofos indios. El agua es fría y húmeda.

2. Aire, introducido por Anaxímenes (588-524 a.C) quien asumía que todo viene del aire y todo a él retorna. El aire es húmedo y caliente.

3. Fuego, idea propuesta por Heráclito de Éfesos (540-475 a.C), sobre el supuesto de que los cuerpos pueden transformarse, pero no el fuego, que modifica todo lo que es. El fuego es caliente y seco.

4. Tierra, esta idea de la Tierra como elemento (frío y seco) se debe a Empédocles (¿490-430?

a.C) . También introdujo la idea de las interacciones entre estos elementos para diferenciar y combinar los elementos, sobre la base de las ideas del amor (atracción) y del odio (repulsión). El odio separa los elementos, y cuando predomina, separa todo mientras que el amor une las cosas nuevamente, en un eterno ciclo que condujo a todo lo que existe.

En este contexto, el aire se opone a la tierra y el fuego al agua. Así, las interacciones entre ellos determinan que ninguno de estos elementos es inmutable.

Esta noción se mantuvo hasta aproximadamente el siglo XVIII.

Nomenclatura de los alquimistas

Hay un período previo al colosal trabajo de Jöns Jakob Berzelius de 1814 y el que resulta de su sistema de nomenclatura que tuvo un fuerte impacto en el desarrollo de la química.

Algunas sustancias elementales fueron conocidas en la antigüedad y se debe a los alquimistas el primer esfuerzo en la búsqueda de un sistema de nomenclatura general para representar a los elementos químicos.

Hacia 1782, se definieron los símbolos de elementos conocidos hacia esa época, en los que se incluían elementos de la antigüedad, como agua, aire y fuego, así como compuestos químicos, tal como el óxido de hierro.

En la Figura 1 se muestra un listado de símbolos usados para



Figura 1.

describir a estas sustancias.

Sin embargo, los símbolos evolucionaron con el tiempo, tal como se observa en la Figura 2.

Un análisis más “racional” se debe a Étienne François Geoffroy (Francia, 1672-1731, Figura 3 a la derecha), quien agrupó las sustancias “simples” en columnas según su “afinidad de esta sustancia por otra debajo de la primera en esa columna” (Figura 2 a la derecha).

Los símbolos representan en general elementos identificables con los astros. En la Figura 4 se muestra una sección de la Tabla de Afinidades y la interpretación de los símbolos.

En 1702 se introduce la teoría del flogisto (del griego “phlogos” = llama), que puede considerarse la ‘primera teoría’ de la química. J.J. Becher (1635-1682) y luego Georg E. Stahl (1660-1734), explicaron que, en los procesos de calcinación de los metales, la

	1500	1600	1700	1782	1800	1814
ORO						Au
MERCURIO						Hg
PLOMO						Pb

Figura 2: Evolución de los símbolos de elementos químicos hasta Berzelius (1814).

Cátedra de Fisicoquímica,
 Departamento de Química,
 Facultad de Ciencias Exactas,
 UNLP, Calle 47 y 115, (1900) La Plata.
 alcappa2000@yahoo.com.ar

En su tratado elemental de química Lavoisier propuso, a su criterio, una tabla de sustancias simples, muchas de las cuales son identificables con los elementos actuales.

Lavoisier mantuvo un enfoque cuantitativo, en el cual el uso de la balanza era central, asociado con otros instrumentos de precisión.

Insistió en caracterizar tanto reactivos como productos de una reacción química.

Rechazó la idea del flogisto, imperante entre los químicos desde hacía más de un siglo,

Proporcionó una interpretación más acertada de las reacciones entre elementos, aunque modernizó y organizó la nomenclatura química, mantuvo el sistema de notación antiguo.

J. Dalton en su libro "A new System of Chemical Philosophy" (1808) comenta que Lavoisier y colaboradores introdujeron un nuevo lenguaje "antiflogístico" que superó las oposiciones que generara en su época [1]. Este esfuerzo le dotó a la química un lenguaje internacional válido todavía a principios del siglo XIX.

Lavoisier puede ser considerado el padre de la química moderna, al introducir métodos cuantitativos en el estudio de las reacciones químicas. La ley de conservación de la masa en las reacciones químicas lleva su nombre.

EL DESARROLLO DE LA QUÍMICA ENTRE 1800 Y 1860

A fines del siglo XVIII, las nociones de átomos y moléculas eran confusas. A principios del siglo XIX, se producen una serie de avances que permiten avanzar a la comprensión de estas nociones que, en el contexto de los conocimientos sobre las propiedades de los elementos química imperantes hasta 1860.

En este marco, debe considerarse el trabajo de tres científicos relevantes en las primeras dos décadas del siglo XIX (Figura 5). Estas contribuciones van asociadas al desarrollo de la teoría atómica de John Dalton (1766-1844), presentada en 1810, al trabajo previo de Joseph Louis Gay-Lussac (1778-1850) y su ley sobre la estequiometría de las reacciones químicas entre gases (1809), y Amedeo Avogadro (1776-1856), conocido por su demostración de que volúmenes iguales de distintos gases bajo las mismas condiciones de presión y

consideraciones de Dalton y de Gay-Lussac. El número de partículas en un mol de moléculas lleva el nombre de Avogadro.

Las ideas centrales de la teoría atómica de Dalton pueden resumirse en las siguientes consideraciones

1. La materia está hecha de átomos que son indivisibles e indestructibles.
2. Los átomos de cada tipo de elementos son idénticos en masa y propiedades.
3. Los átomos no pueden crearse ni destruirse.
4. Las reacciones químicas producen reordenamientos de átomos. Los átomos no desaparecen en una reacción química y pueden recuperarse de los compuestos formados a partir de ellos.
5. Los compuestos están formados por dos o más tipos de átomos.



Figura 5: De izquierda a derecha, J.L. Gay-Lussac, J. Dalton y A. Avogadro.

temperatura, contienen el mismo número de moléculas, lo que significó un avance en el estudio y desarrollo de la teoría atómica (1811). Avogadro se basó en las

6. La combinación de átomos distintos respeta una relación definida de masas.

Es importante comentar, que en Dalton subyace la idea de asociar a los átomos un peso definido (o inercia como lo indica en su texto *A new System of Chemical Philosophy* [1].

J. Dalton, al elaborar su teoría atómica, establece una escala de pesos atómicos, tomando el valor de 1 para el hidrógeno. En la Figura 6 se listan los nombres de los elementos conocidos por Dalton y su escala de pesos atómicos.

En la teoría de Dalton, si A y B son dos “cuerpos o átomos” en

condiciones de reaccionar, se pueden presentar situaciones como las siguientes [1]:

1 átomo de A + 1 átomo de B = 1 átomo de C, donde C es un átomo “binario”

1 átomo de A + 2 átomo de B = 1 átomo de D, donde D es un átomo “terciario”

2 átomos de A + 1 átomo de B = 1 átomo de E, donde E es un átomo “terciario”

En esta nomenclatura, Dalton no hace referencia a la idea de molécula, empleando la noción de átomo binario, terciario, cuaternario, etc. Las palabras molécula y moléculas se mencionan 3 veces y 6 veces

respectivamente en su texto clásico.

Los conceptos de átomo y molécula, en esta etapa de desarrollo de la química, no estaban establecidos.

En la Figura 6 se observa la nomenclatura adoptada por Dalton para representar los átomos y la combinación de átomos. Así, en el caso de la formación de agua, el esquema de reacción se representa como se indica en la Figura 7.

Esta interpretación de una reacción química, que según las palabras de Dalton, para el caso de la formación de agua, implica “that water should be concluded a

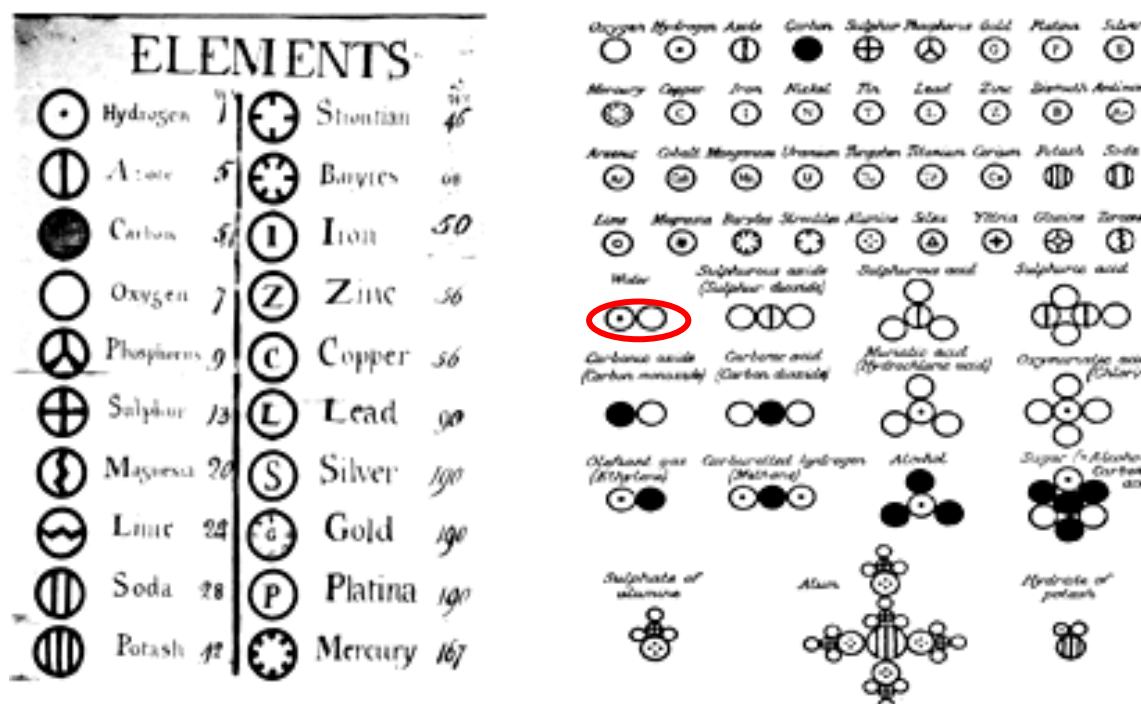


Figura 6: Facsímil del libro de J. Dalton, “A new System of Chemical Philosophy” (1808), En rojo se indica su interpretación de la constitución de una molécula de agua, que no es consistente con los resultados de Gay Lussac. En la Tabla a la izquierda pueden leerse los nombres ingleses traducidos de la obra de Lavoisier y la escala de pesos relativos tomando el valor de 1 para el hidrógeno. A la derecha la representación simbólica de átomos simples, binario, terciarios, etc. ([1] J. Dalton, *ibid.* pag 218-219.)

binary compound, or, one atom of oxygen unites with one of hydrogen to form one of water. Hence, the relative weights of the atoms of oxygen and hydrogen are 7 to 1”.

El razonamiento general de Dalton divergía del estudio de Gay Lussac según el cual,

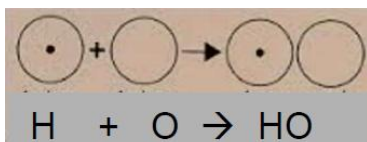


Figura 7: Esquema de la reacción de formación de agua siguiendo las hipótesis de Dalton. La representación de los átomos recuerda a la de Lavoisier.

2 volúmenes de hidrógeno (g)+ 1 volumen de oxígeno (g) \rightarrow 2 volúmenes de agua (g)

Por otro lado, Dalton conocía que, según los estudios de Lavoisier y sus colegas, los pesos relativos resultantes de esta reacción implicaban que el oxígeno era 17 veces más pesado que el hidrógeno.

Se debe a Avogadro la introducción de métodos para determinar masas relativas de masas de moléculas elementales, tal como se describe en su trabajo publicado en 1811, “Essai d'une manière de déterminer les masses relatives des molécules élémentaires des corps, et les proportions selon lesquelles elles entrent dans ces combinaisons” [2].

Uno de los problemas que debió resolver Avogadro en sus estudios fue aclarar la confusión reinante entre las nociones de las

partículas que componían los distintos tipos de cuerpos. Avogadro buscó diferenciar las moléculas tales como la de hidrógeno, oxígeno y nitrógeno, por ejemplo, de aquellas como agua, amoníaco, etc.

En el lenguaje de Avogadro, se deberían considerar distintos tipos de moléculas, y en una de esas categorías entraba la idea de moléculas elementales (que ahora son identificables con el concepto de átomo) y moléculas compuestas. Esta distinción fue ignorada por Dalton.

La controversia entre las propuestas de Dalton y principalmente Avogadro se mantuvo varios años hasta que se resolvió en 1860 en el marco del Congreso en Karlsruhe.

En 1857, Rudolf Clausius comentaba que la idea de moléculas diatómicas, propuesta por Avogadro era una idea que los químicos discutían desde la época de Avogadro y su ley de que a igual volumen debía existir un número igual de partículas (1811). Una idea similar fue propuesta por André Marie Ampère en la misma época (1814). [3].

Asimismo, diferenció entre masas y pesos de moléculas. En su trabajo los valores relativos de las masas de las partículas se sustentan en las medidas de densidad.

Razonando sobre la base de los experimentos con gases de Gay-Lussac (1809) según los cuales

en una reacción estos se combinan en una proporción sencilla y cuando el resultado de la unión es un gas, su volumen estará relacionado con el de sus componentes. Pero las proporciones cuantitativas de las sustancias en los compuestos parecen depender únicamente del número relativo de moléculas que se combinan y del número de moléculas compuestas que resultan. Avogadro concluye que las proporciones cuantitativas de las sustancias en los compuestos parecen depender únicamente del número relativo de moléculas que se combinan y del número de moléculas compuestas que resultan. Consecuentemente, debía admitirse la existencia de relaciones muy simples entre los volúmenes de sustancias gaseosas y el número de “moléculas simples” o “moléculas compuestas” que las forman.

Según Avogadro, este razonamiento es opuesto al que planteaba Dalton en sus resultados. Además, Avogadro era consciente del desconocimiento de las fuerzas (de atracción) que operaban entre las partículas, que eran parte del sustento del análisis de Dalton.

Admitiendo esta hipótesis, Avogadro razonaba que era factible la medida de las masas relativas de las moléculas de sustancias en forma sencilla a partir de las determinaciones de las densidades en el estado gaseoso.

Si las proporciones de las masas de las moléculas son las mismas

que las de las densidades de los diferentes gases a la misma temperatura y presión, y el número relativo de moléculas en un compuesto es también proporcional a los volúmenes de los gases que lo forman, entonces la relación entre las masas de volúmenes iguales de estos dos gases, debe ser en el marco de su hipótesis, la relación de las masas de sus moléculas. Esta es también la base conceptual de la ley de Avogadro.

Avogadro era consciente de los errores propios de estas determinaciones, pero al comparar densidades, introdujo la idea de la masa de las moléculas. Sobre la base de las medidas experimentales de su época, la masa de la molécula de oxígeno será aproximadamente 15 veces mayor a la de la molécula de hidrógeno, la masa de la molécula de nitrógeno comparada con la de hidrógeno debería ser 13:1 aproximadamente y así sucesivamente.

Por otro lado, conociendo la relación de combinación de volúmenes de hidrógeno y oxígeno, concluyó que la molécula de agua resultaba ser la unión de una molécula de oxígeno con dos moléculas de hidrógeno, esto es una relación de 1 a 2. Observar que Avogadro no usa la expresión átomo en su razonamiento.

Concluyendo este punto, en el caso de la reacción de formación de agua, aplicando la ley de Avogadro, la ley de conservación

de la masa de Lavoisier y de los experimentos de Gay-Lussac, si en las mismas condiciones de presión y temperatura mayores a la de ebullición del agua, dos volúmenes de hidrógeno se combinan con 1 volumen de oxígeno para dar dos volúmenes de agua en estado gaseoso, y desde el punto de vista de las masas, 4 partes de masa de hidrógeno se combinan para dar 32 partes de oxígeno para generar 36 partes de agua, entonces la relación de la masa de hidrógeno a la de oxígeno debe ser la misma que 1 a 16.

En 1815, William Prout (1785-1850) postuló que los "pesos atómicos" de los elementos debían ser múltiplos enteros del peso atómico del hidrógeno. Consideraba al hidrógeno como una partícula fundamental (que llamó protolito) y que los átomos de los otros elementos eran agrupaciones de átomos de hidrógeno. La hipótesis no tuvo eco en la comunidad de los químicos de su época, pero fue revaluada a principios del siglo XX. En 1923, A. Brown propuso modificar el nombre de protón a la partícula de carga positiva presente en los núcleos, a proutón, en homenaje a Prout [4].

NACIMIENTO DE LA NOMENCLATURA MODERNA

Se debe al químico Jöns Jacob Berzelius (Suecia, 1779-1848) la introducción de una nomenclatura para representar a los elementos

(1814) de una manera sencilla y avanzar en la obtención de las masas atómicas de los elementos que corrigiera los valores publicados por Dalton.

El número de elementos conocidos fue incrementándose desde los 23 de la época de Lavoisier (1789), 30 hacia 1815, llegando al número de 40 en 1818 y 49 hacia 1828, hasta llegar a los 69 en la época que se publicara el trabajo de Dmitri Mendeleev (Rusia, 1837-1907) y un poco después Julius Lothar Meyer (1830-1895) sobre el ordenamiento de los elementos químicos que fue la base de la construcción de la Tabla Periódica de los Elementos a partir del conocimiento de las masas atómicas.

Pero se debe a Berzelius, un químico destacado y muy cuidadoso en sus estudios, la introducción de algunos avances en el desarrollo de la nomenclatura química. Berzelius contribuyó a incrementar el conocimiento en el número de elementos químicos, aislando selenio, torio, cerio, silicio, circonio y titanio. Sus discípulos lograron aislar el litio y el vanadio.

Realizó aportes significativos a la química, entre los cuales pueden mencionarse que:

1. Desarrolló el sistema de notación química en la que a los elementos se les denotaba con símbolos simples (1813), nombrándolos sobre la base de la primera letra de su nombre latino

y en caso de trabajar con otros elementos cuyo nombre comenzaba con la misma letra inicial, le agregaba una segunda. Por ejemplo, para nitrógeno usó la N, para sodio (Natrium en latín) el símbolo que adaptó fue Na, y así hasta nombrar todos los elementos conocidos en la época de Dalton. Sin embargo, Dalton no reconoció las ventajas de esta nomenclatura, que fue resistida por otros químicos durante muchos años.

2. El peso atómico asignado al oxígeno por Dalton tomaba el valor 7, basado en el análisis de los datos de Gay-Lussac, según el cual, en el caso del agua, el 87,4 % correspondía a oxígeno y el 12,6 % a hidrógeno, valores cuya relación es aproximadamente 7. Berzelius estimó que el porcentaje de oxígeno debía ser del orden de 89%, dando un valor cercano a 8 para el peso atómico de este elemento. El valor final dependía de si se admitía que la fórmula del agua se escribía como HO o como H₂O. Esta última nomenclatura respetaba los resultados de Avogadro [5]. Sin embargo, todo sugiere que Berzelius no aceptaba la idea de moléculas diatómicas, como la de hidrógeno u oxígeno, pues consideraba que las partículas deberían repelerse de manera similar a lo que se observaba en las cargas. Este criterio no permitía construir una hipótesis sustentable para la fórmula del agua.

3. Demostró que las sustancias están compuestas de diferentes elementos en proporciones constantes en peso.

4. Construyó una lista de pesos atómicos relativos, asignado el valor de 100 al oxígeno. Esta escala corrigió la empleada originalmente por Dalton.

5. Descubrió que los pesos atómicos no eran múltiplos enteros del peso de hidrógeno, como había supuesto Proust. Halló que el peso atómico del Cl debía ser 35,5 aproximadamente, que no podía ser descrito sobre la base de la teoría de Proust. Sin embargo, este resultado no contemplaba la existencia de isótopos de un elemento en distintas proporciones en la naturaleza.

6. Sobre la base de su conocimiento de electroquímica (electrólisis), Berzelius estableció un criterio de afinidades en el que el oxígeno era la especie más electronegativa y el potasio la más electropositiva. Para describir las reacciones químicas, adhirió a la teoría llamada dualista, según la cual, las partículas de cargas opuestas (electropositivas y electronegativas), por atracción mutua, pueden reaccionar químicamente. Por ejemplo, el agua se descompone electroquímicamente en hidrógeno (electropositivo) y oxígeno (electronegativo), o las sales en las bases (electropositivas) y ácidos (electronegativos). Esta teoría describía lo que se observaba con compuestos

inorgánicos, pero no era aplicable al campo creciente de la química orgánica. Aunque fue descartada con el avance de la disciplina, generó serias discusiones entre los que la apoyaban o la rechazaban, o bien buscaban una posición intermedia.

Los valores comparados de "masa atómica" empleados por Dalton (1810) con los evaluados por Berzelius (1814) pueden hallarse en el texto de Lothar Dunsch [6]. En la Tabla 1 se listan algunos ejemplos típicos y los valores aceptados actualmente.

Como puede apreciarse en la Tabla 1, la nomenclatura de Berzelius presentaba ventajas frente a la de Dalton, en lo relativo a la escritura de compuestos resultantes de la combinación de elementos.

Las ideas de Dalton tuvieron una gran influencia sobre el pensamiento de Berzelius, a tal grado que no hacía diferencia entre átomos y moléculas.

Un papel importante en este período lo cumplió también Justus von Liebig (Alemania, 1803-1873) trabajando en la Universidad de Giessen, Alemania, donde montó un laboratorio que fue un destacado centro para los químicos europeos y de Estados Unidos. A Liebig se le puede considerar uno de los grandes científicos en el campo de la química orgánica. Entre otros aspectos mejoró el análisis orgánico, descubrió la importancia del nitrógeno y el dióxido

La influencia francesa y la química orgánica:

Las contradicciones entre los químicos de la primera mitad del siglo XIX fueron significativas. De hecho, involucraron a muchas personalidades de esta ciencia en crecimiento.

Entre ellos se pueden recordar a tres científicos que desarrollaron sus actividades en Francia: Jean Baptiste André Dumas (Francia, 1800-1884), Charles Frédéric Gerhardt (Francia, 1816-1856) y Auguste Laurent (Francia, 1808-1853). Dumas, médico de formación, dirigió su interés hacia la química en el año 1823. Dumas tuvo una gran influencia en la comunidad científica francesa.

En 1823 publicó un estudio de 9 alcaloides, como parte de sus contribuciones a la química orgánica y la clasificación de las sustancias químicas. En este estudio intentó probar que las proporciones relativas de oxígeno cumplían con las ideas de Dalton.

En 1828 publicó el primer volumen del "Traité de Chimie Appliquée aux Arts". Se debe a Dumas la modificación de los métodos para la determinación de la densidad de gases y la evaluación indirecta de las masas moleculares (1826), entre ellas las de fósforo, arsénico y boro. Dumas comprendió la importancia de la teoría de Avogadro y todas sus consecuencias. Comprendió que le faltaba información y buscó reunir el mayor número posible de resultados para obtener una conclusión general sobre este tema.

A partir de las medidas precisas de las densidades de vapores pudo dar una respuesta para justificar la validez de la teoría de Avogadro abriendo a los químicos el camino para aceptar esta teoría. La muestra más evidente de esta influencia de la escuela del Prof. Dumas aparece en un artículo de uno de sus alumnos, Marc Antoine Auguste Gaudin (1804-1880), quien contribuyó a una mejor interpretación de la ley de Avogadro proponiendo que algunos elementos forman moléculas diatómicas o poliatómicas en fase gaseosa (S. H. Mauskopf, "*Atomic Structural Theories of Ampère and Gaudin: Molecular Speculation and Avogadro's Hypothesis*", l. 1969, 60, 61-74).

Gaudin aceptó la teoría de Avogadro sin reservas. Estableció una clara distinción entre las palabras átomo y molécula, por medio de la cual pudo reconciliar todos los hechos con la teoría. En sus estudios concluyó que las moléculas de oxígeno, hidrógeno y de otros halógenos eran diatómicas, mientras que en el caso del mercurio, esta es monoatómica. También concluyó que la molécula de azufre estaba constituida por 6 átomos del elemento. Bajo su dirección se formaron Gerhardt y Laurent, quienes ejercieron su influencia en Kekulé, Wurtz y Cannizzaro.

Charles F. Gerhardt, por su origen alsaciano, estudió en Karlsruhe y luego en Leipzig, Giessen y Dresde. Con 22 años se instaló en París y luego, a la edad de 25 años, ya como Profesor Titular, continuó sus investigaciones primero en Montpellier y unos años después en París. Realizó una serie de contribuciones a la química, particularmente en la notación química (1843), la clasificación, y la obtención de anhídridos orgánicos.

Escribió un Tratado de Química Orgánica (Traité de Chimie Organique) en 4 volúmenes publicados entre 1853 y 1856 tanto en francés como alemán. Este texto fue muy famoso en su época y de un impacto significativo entre los jóvenes químicos. A él se debe la creación de su Comptes-Rendus des Travaux de Chimie, donde hizo conocer en Francia los avances químicos alemanes.

Tradujo la obra de Liebig. Gerhardt cumplió un papel importante en poner orden en el aparente caos de la química orgánica. Su contribución quedó reflejada en su Tratado de Química Orgánica. Trabajó en lo que se suelen denominar propiedades parcialmente constitutivas y parcialmente aditivas. En particular generalizó los resultados de Hermann Kopp (Alemania, 1817-1892). Kopp buscó correlacionar las propiedades fisicoquímicas con la estructura molecular, como, por ejemplo, el incremento regular de la temperatura de ebullición con la incorporación de un grupo metileno (CH_2).

Gerhardt amplió estas ideas en las llamadas series homólogas. Se opuso, junto con Laurent, a la teoría dualista de Berzelius, por su fracaso al ser aplicada a los compuestos orgánicos. Las razones principales se sustentaban en los siguientes aspectos. (a) Todos los cuerpos debían ser consideradas moléculas simples y no entidades dobles. (b) Consideraba a cualquier cuerpo simple o compuesto como un sistema formado por la unión de partículas infinitamente pequeñas llamadas átomos.

A este sistema lo llamó molécula de un cuerpo. (c) En la molécula de un cuerpo supuestamente simple, los átomos son similares, es decir, no puede distinguirse ninguna diferencia. En la molécula de un cuerpo compuesto, los átomos son "heterogéneos".

Auguste Laurent y Gerhardt realizaron trabajos conjuntamente en temas de química orgánica, pero el primero tenía una fuerte base teórica de la química, mientras que Gerhardt no incluía explícitamente la noción de átomos y sus combinaciones.

La búsqueda de simplificar las fórmulas de los compuestos orgánicos e inorgánicos lo llevó a una situación en la que se vio forzado a dejar de lado la ley de Avogadro, aunque realizó esfuerzos importantes para mejorar los pesos convencionales. Su posición sobre la ley de Avogadro contrastaba con la de Laurent, quien la adopta en 1844. Gerhardt, no sólo sintetizó anhídridos, cloruros de ácido, derivados del ácido salicílico, etc., sino que planteó la teoría de los tipos (1853) e impulsó la clasificación racional de la química orgánica, poniéndola en una forma más racional, generalizó el concepto de homología y equivalentes. Por su parte Laurent desarrolló una nomenclatura sistemática apoyada en el agrupamiento de átomos dentro de las moléculas para comprender como estas se combinan en las reacciones orgánicas.

La carrera académica de Gerhardt y de Laurent sufrieron las consecuencias de los conflictos sociales en Francia como consecuencia de la Revolución de 1848.

Gerhardt y Laurent, con las contradicciones propias del conocimiento de la época, contribuyeron a desarrollar las doctrinas de la química moderna, particularmente de la química orgánica que experimentaba un fuerte desarrollo en ese período. Esta discusión entre estos investigadores en la primera mitad del siglo XIX, influyeron significativamente en las jóvenes generaciones de químicos. Ambos investigadores, aunque murieron relativamente jóvenes, ejercieron una influencia muy significativa en Auguste Kekulé en particular, A. Wurtz y S. Cannizzaro.

Tabla 1: Algunos símbolos y masas atómicas de elementos. Se indican los valores originales según Dalton y el asignado por Berzelius. En ambos casos están corregidos por el valor de 16 para el oxígeno.

Elemento	Símbolo según Dalton	Nomenclatura según Berzelius	Masas atómicas				
			Dalton (1810)		Berzelius (1814)		IUPAC
			Valor original O=7	Corregido O=16	Asignado O=100	Corregido O=16	
Oxígeno	○	O	7	16	100	16	$^{12}\text{C}=12$ 15,999
Azufre	⊕	S	13	29,7	201	31,98	32,06
Plata	Ⓢ	Ag	100	114,3	2688,17	107,52	207,87
Hidrógeno	⊙	H	1	1,14	6,636	1,0617	1,007
Carbono	●	C	5,4	12,3	11,98	11,97	12,01
Nitrógeno	⊖	N	5	11,4	179,54	14,36	14,01

de carbono del aire en el metabolismo de las plantas, así como el papel de los microorganismos en estos procesos, así como la de los minerales del suelo. Entre los logros de von Liebig, además de los aspectos fundamentales como el análisis orgánico, pueden mencionarse sus contribuciones a la agricultura donde desarrolló fertilizantes a base de nitrógeno y de la ganadería, particularmente en la producción de extracto de carne destinada a las poblaciones pobres de Europa. Es de interés general conocer que este tipo de producción se aplicó en Argentina en la localidad de Fray Bentos

donde se montó la fábrica Liebig Extract of Meat Company, que funcionó desde mediados del siglo XIX hasta los primeros años del siglo XX. Adolphe Wurtz, August Kekulé y August von Hofmann se formaron bajo su influencia.

CONGRESO INTERNACIONAL DE QUÍMICA EN KARLSRUHE DE 1860

En 1857, Rudolf Clausius (Prusia, 1822-1888), en su trabajo "Über die Art der Bewegung, welche wir Wärme nennen"[7], en lo que se considera su primera contribución a la teoría cinética, planteó que los modelos de partículas

esféricas como bolas de billar no eran suficientes para explicar algunos hechos relacionados con los calores específicos. Consideró incorporar los movimientos de rotación y vibración, además de la traslación, tal como se había planteado la teoría cinética desde el siglo XVIII. Las moléculas simples como oxígeno, podían considerarse conformada por dos partículas o átomos. Clausius, aparentemente, fue el primero en realizar esta suposición y, de hecho, destacaba la poca atención que se presentaba en el campo de la química. Esta idea de moléculas diatómicas estaba de alguna manera presente en la

EL CONCEPTO DE VALENCIA

Esta es una idea muy conocida desde los cursos más elementales de química. Sin embargo, hubo distintos problemas para su incorporación en el lenguaje de la química.

Aunque en su forma más primitiva la idea de valencia puede rastrearse hasta el siglo XV, su etimología puede buscarse en la idea del latín "*valentia*" asociado con el concepto de fuerza o capacidad (1425).

Las ideas que resultaron de los estudios de Jeremias B. Richter (1762-1807), condujeron a establecer la noción de *peso equivalente* como la cantidad de un elemento o compuesto que reacciona con una cantidad definida de una sustancia de referencia (1792). En su momento, esta ley generó posiciones opuestas con los atomistas.

Debe considerarse que el concepto de *peso equivalente* continúa empleándose en el campo de la química, particularmente en las reacciones redox y en titulaciones ácido-base. En este sentido fue importante la mayor comprensión de la idea de valencia.

E. Frankland, "On a New Series of Organic Bodies Containing Metals". Philosophical Transactions of the Royal Society of London. 1852, 142: 417-444), observó que existe alguna simetría en la construcción de compuestos de nitrógeno, fósforo, antimonio y arsénico. Estos elementos tienen la capacidad de formar sustancias compuestas con lo que llamó 3 o 5 *equivalentes* de otros elementos, como por ejemplo NO₃, NH₃, PH₃, PCI₃, SbO₃, SbCl₃, AsH₃ por un lado y NO₅, NH₄O, PH₄I, etc. Frankland no introdujo ninguna hipótesis sobre estas tendencias, afirmando que sin importar cuáles fueran las representaciones de los átomos que se unen, existe una preferencia de tal manera que el *poder de combinación* del elemento atrayente, siempre se satisface con el mismo número de estos átomos. Frankland, en su análisis, usó los pesos equivalentes en sus fórmulas.

Este "*poder de combinación*" se denominó posteriormente cuantivalencia o valencia como se emplea actualmente (J.R. Partington, *A Short History of Chemistry*, Ed. MacMillan & Co, London, 1957, p 264-285).

Frankland también consideró que la valencia de un elemento podía cambiar de una sustancia a otra.

En 1857, August Kekulé propuso la idea de que existen valencias fijas para muchos elementos, como 4 para el carbono y que sobre la base de estas, es posible escribir fórmulas estructurales para los compuestos orgánicos.

Las ideas básicas de Kekulé son todavía aceptadas en la química moderna.

LA LEY DE LAS TRIADAS

La existencia de los valores propuestos por Berzelius tuvo un impacto significativo en el estudio de la química. Johann Döbereiner (Alemania, 1780-1849) analizando los valores de las masas atómicas de los elementos condujo a la denominada ley de las triadas. En 1817, Döbereiner mostró que el estroncio tenía una masa atómica aproximadamente igual a la media aritmética de las masas atómicas del Ca y del Ba. Este comportamiento permitía agrupar a los elementos en grupos de tres según una regla que se conoce como la ley de las Triadas. Ejemplos de esta ley son los siguientes,

Ejemplo 1: La masa del elemento bromo se puede estimar sobre la base de la tríada (Cl, Br, I):

$$M_{Br} = (M_{Cl} + M_I) / 2 = (35,470 + 126,470) / 2 = 80,470$$

Ejemplo 2: La masa del elemento sodio puede calcularse sobre la base de la tríada (Li, Na, K)

$$M_{Na} = (M_{Li} + M_K) / 2 = (6,95 + 39,11) / 2 = 23,000$$

Ejemplo 3: La masa del Selenio se estimar sobre la base de la tríada (S, Se, Te)

$$M_{Se} = (M_S + M_{Te}) / 2 = (16,000 + 64,2) / 2 = 39.7$$

Estos valores son comparables con los experimentales, indicando que existía cierta regularidad en la distribución de las masas atómicas, que servirían de base para la construcción de reglas periódicas que condujeron a la construcción de la Tabla Periódica de los elementos.

mesa de discusiones desde la época de Avogadro. Los trabajos realizados por las distintas escuelas desde Lavoisier hasta Berzelius fueron importantes para promover cambios en la

mentalidad de los químicos de las nuevas generaciones.

Sin embargo, las notaciones como las propuestas por Berzelius, así como las ideas de átomos y moléculas, y la descripción de las estructuras

químicas, continuó siendo confusa, tal como se ejemplifica en la Tabla 2.

Tabla 2: Ejemplos de fórmulas de sustancias no elementales basados en el esquema propuesto por Berzelius.

sustancia	Agua	Carbonato de sodio	Ácido sulfúrico	Ácido oxálico
Fórmula según Berzelius	$\overset{\cdot}{\text{H}}$	$\overset{\cdot}{\text{Na}}\overset{\cdot}{\text{C}}$	$\overset{\cdot}{\text{H}}\overset{\cdot\cdot\cdot}{\text{S}}$	$\overset{\cdot}{\text{H}}\overset{\cdot\cdot}{\text{C}}$

Sin embargo, Gerhardt pudo establecer la diferencia entre un radical como hidrógeno y la molécula diatómica de hidrógeno (H^2) como entidades libres en fase gaseosa.

Laurent había descrito las reacciones como la de hidrógeno (H^2) con cloro (Cl^2) como una doble descomposición y la representaba simbólicamente como $\text{HH} + \text{ClCl} = \text{HCl} + \text{ClH}$ y la suponía general [8]. Así, las reacciones inorgánicas y orgánicas podían esquematizarse según la nomenclatura vigente en esa época.

Es importante tener presente que, después de 1840, la mayoría de los químicos dejaron de emplear los pesos atómicos propuestos por Berzelius, adoptando los pesos equivalentes considerando

que eran resultado directo de los experimentos basados en las leyes de Faraday. Así, al hidrógeno se le asignaba el valor 1, al carbono el valor 6, para oxígeno se tomaba el valor 8. Se empleaban los símbolos $\text{H} = 1$ para el hidrógeno, C para carbono y Θ para oxígeno. El mayor problema se presentaba al eliminar la barra, era difícil a que sistema de pesos atómicos se hacía referencia. La nomenclatura H^2O^2 sin la barra no dejaba en claro si era agua o peróxido de hidrógeno, C^2H^4 podía significar etileno, metano, etc. Como afirmaba Leopold Gmelin (Alemania, 1788-1853), autor de una famosa enciclopedia de química reconocía esta confusión y, si bien trató de redactar su obra tratando de obviar estos

inconvenientes, no pudo lograrlo, al menos en las primeras ediciones (<https://www.encyclopedia.com/science/dictionaries-thesauruses-pictures-and-press-releases/gmelin-leopold>).

Hacia 1860, aun cuando una parte de la comunidad aceptaba la idea de átomos y moléculas, la escritura de las fórmulas moleculares era materia de discusiones entre los especialistas, aún, como se ha visto, la fórmula de correspondiente al agua. Los adeptos a la escuela de Dalton escribían, según los símbolos de Berzelius, como HO y una fracción menor como H_2O . La discusión era más amplia en el caso de moléculas de mayor complejidad y la confusión era también mayor, a tal grado, que

en el caso de una molécula sencilla como la del ácido acético, existían más de 15 representaciones en los textos de la época, como las que se muestran en la Tabla 3.

Correspondió a la generación de químicos nacida entre aproximadamente 1820 y 1830 plantearse el problema sobre como remontar la confusión existente en el

campo de la química. Algunos de ellos son especialmente conocidos en el campo de la química orgánica, entre los cuales destacaron August Kekulé (Alemania, 1829 - 1896), Adolphe Wurtz (Francia, 1817-1884) y Stanislao Cannizzaro (Italia, 1826-1918).

August Kekulé; Las distintas fuentes señalan que el puntapié

inicial para la organización de una reunión específica en temas de químicas se debe a August Kekulé, siendo Profesor Titular en la Universidad de Gante (Bélgica), cargo en el que había designado en 1858. Previamente, después de una estadía en Londres, ganó una posición como Privatdozent en la Universidad de Heidelberg (1856-1858), etapa

Tabla 3: Distintas representaciones del ácido acético hacia 1860 según Kekulé. La misma situación se planteaba con las moléculas de agua (H2O, HO, H2O2), metano (CH4, C2H4), etc.

$C_2H_4O_2$	empirische Formel.	$C_2O_2 + C_2H_2 + HO$	Berzelius' Paarlings-theorie.
$C_2H_2O_2 + HO$	dualistische Formel.	$HO.(C_2H_2)C_2, O_2$	Kolbe's Ansicht.
$C_2H_2O_2 + H$	Wasserstoffsäure-Theorie.	$HO.(C_2H_2)C_2, O, O_2$	dito
$C_2H_2 + O_2$	Kerntheorie.	$C_2(C_2H_2)O_2 \left\{ \begin{matrix} O_2 \\ H \end{matrix} \right.$	Wurtz.
$C_2H_2O_2 + HO_2$	Longchamps's Ansicht.	$C_2H_2(C_2O_2) \left\{ \begin{matrix} O_2 \\ H \end{matrix} \right.$	Mendius.
$C_2H + H_2O_2$	Graham's Ansicht.	$C_2H_2 \left\{ \begin{matrix} HO \\ HO \end{matrix} \right. C_2O_2$	Geuther.
$C_2H_2O_2 \cdot O + HO$	Radicaltheorie	$C_2 \left\{ \begin{matrix} C_2H_2 \\ O \\ O \end{matrix} \right. \left. \right\} O + HO$	Rochleder.
$C_2H_2 \cdot O_2 + HO$	Radicaltheorie.	$(C_2 \frac{H_2}{CO} + CO_2) + HO$	Persoz.
$C_2H_2O_2 \left\{ \begin{matrix} O_2 \\ H \end{matrix} \right.$	Gerhardt. Typentheorie.	$C_2 \left\{ \begin{matrix} C_2H_2 \\ H \\ H \end{matrix} \right. \left. \right\} O_2$	Buff.
$C_2H_2 \left\{ \begin{matrix} O_2 \\ H \end{matrix} \right.$	Typentheorie(Schischkoff)etc.		

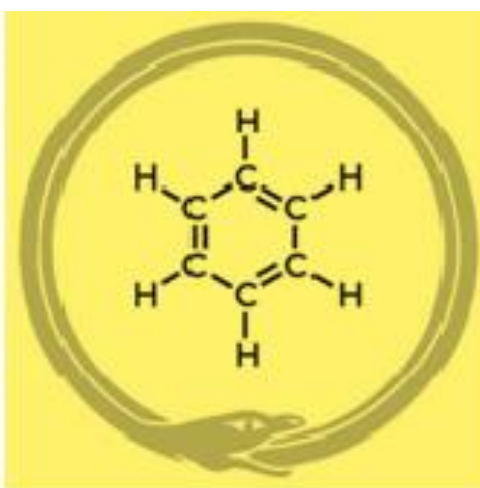


Figura 8: A. Kekulé hacia 1862 (Izquierda). En el centro, la estructura del benceno con la imagen alquimista de la ourobora o uróboro, serpiente que se traga la cola. A la derecha, foto de Kekulé en su edad de mayor productividad.

previa para su progreso académico. En 1868 aceptó una posición permanente en la Universidad de Bonn, en el que permaneció hasta su fallecimiento (1896). Impulsó la organización



Figura 9: A. Wurtz se formó bajo la influencia de Justus von Liebig al igual que A. Kekulé y August W. von Hofmann. A mediados de 1855 incorporó las ideas estructura-les que estaba desarrollando A. Kekulé. Los libros de textos de química orgánica recogen detalladamente las contribuciones de Wurtz al campo de la química orgánica. Publicó varios textos, entre los que se cuentan *Chimie médicale* (1864), *Leçons élémentaires de chimie moderne* (1867), *Théorie des atomes dans la conception du monde* (1874), *La Théorie atomique* (1878), etc. Existe una versión en inglés de *La Théorie atomique* traducida en la serie *International Scientific Series*, "The Atomic Theory", A. Wurtz, vol XXIX (1881) al que se puede acceder en la dirección: <https://google.books-com>. En este texto se pueden hallar detalles de las contribuciones.

del Congreso Internacional de Química en Karlsruhe, Alemania y en 1861 publicó el primer tomo de su libro "Lehrbuch der Organischen Chemie" donde plantea sus ideas sobre la química con un enfoque moderno

para la época. Previamente, Kekulé había adelantado la hipótesis de cadenas de carbono para describir los compuestos orgánicos.

En la Figura 8 se muestran dos fotos de A. Kekulé en dos etapas de su vida y la estructura del benceno propuesta por el

científico.

Adolphe Wurtz (Figura 9) fue otro de los que impulsaron la organización del Congreso. Discípulo de von Liebig y de Dumas, y sobre él influenció C. Gerhardt. Lentamente, hacia 1850, la química fue incorporando la idea de átomos químicos, así como los valores de pesos atómicos más cercanos a los presentes y la teoría dualista de Berzelius se fue desmoronando bajo los nuevos avances. A. Wurtz trabajó sobre las reacciones de hidrocarburos del tipo $2 R-X + 2 Na \rightarrow R-R + 2 Na+X-$ que lleva su nombre, que conduce a la formación de enlaces carbono-carbono.

La carátula del texto "Sunto di un corso di filosofia chimica" traducido al inglés se muestra en la Figura 12.

El desarrollo del Congreso de Karlsruhe [3, 9-11].

Hacia fines de 1859, Kekulé, ya instalado en Gante, con su idea en mente tomó contacto con el Prof. K. Weltzien (San Petersburgo, Rusia, 1813-1870), profesor en el Instituto de

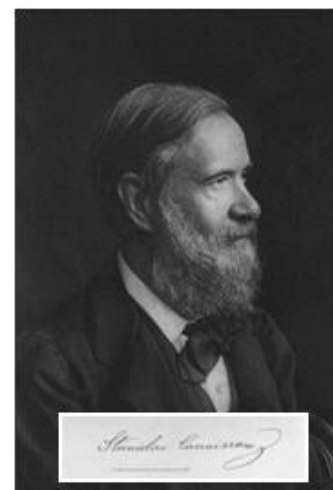


Figura 10: Stanislao Cannizzaro (Italia 1826-1910). Nació en la ciudad de Palermo, donde después de algunos infortunios familiares y personales, inició, a los 15 años, sus estudios en la Facultad de Medicina. Los estudios de fisiología lo acercaron a la química. Por la falta de infraestructura adecuada, montó un laboratorio de química en su casa bajo el asesoramiento de un docente de la universidad. Esta experiencia personal, ya como profesor universitario, le convenció de la importancia de dotar a los laboratorios de instalaciones adecuadas para la formación experimental de los estudiantes de ciencias químicas. En 1853 descubrió la reacción donde los aldehídos aromáticos, como el benzaldehído experimenta una reacción catalizada por hidróxidos alcalinos, para formar ácido benzoico y alcohol bencílico (ver Figura 11). Esta reacción lleva su nombre. A partir de 1857 fue designado profesor de la Universidad de Génova, Italia, donde, también la ausencia de una infraestructura adecuada y el desinterés de las autoridades ministeriales de esa época, afectaron su productividad científica. En 1857 inicia los trabajos que condujeron a la redacción de su famosa publicación "Sunto di un corso di filosofia chimica" cuyo impacto fue decisivo en las discusiones en el Congreso.

Tecnología de la Universidad de Karlsruhe y luego con el Prof. A. Wurtz para llevar adelante la organización de una reunión científica en el campo de la química para resolver las distintas discrepancias que empapaban la química y dificultaba la comunicación y su enseñanza.

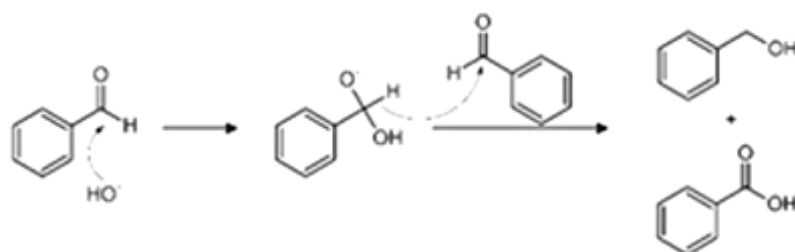


Figura 11: Ejemplo de la reacción de Cannizzaro sobre la dismutación de benzaldehído catalizada por una base fuerte en el lenguaje actual de la química orgánica.

A fines de marzo de 1860, los tres científicos se reunieron en París y analizaron esta posibilidad, donde se elaboraron los pasos a seguir y establecer una agenda de trabajo.

Le tocó al Prof. Wurtz escribir las invitaciones a los químicos más distinguidos de su época. En una primera etapa se redactó una circular inicial, que tenía como objetivo ganar el apoyo de los hombres más destacados de la ciencia. En esta se describieron en términos generales, las diferencias que existían entre las distintas visiones teóricas de los químicos y la urgencia de poner fin a estas diferencias mediante un acuerdo común, al menos en lo que respecta a determinadas cuestiones. La circular se redactó

en francés con fecha 1 de julio de 1860 y en inglés y alemán, ambas fechadas el 10 de julio de ese año.

Entre los fundamentos, se planteó el desarrollo alcanzado por la química con anterioridad a la fecha de la convocatoria. El objetivo del congreso debía estar

orientado a cuestiones importantes para el futuro de la disciplina. Los organizadores aspiraban a que la invitación alcanzara a los químicos con autoridad académica en el campo de la química. Además, la Asamblea, tal se expresaba en la invitación, no podía deliberar en nombre de todos, así como aprobar resoluciones para ser acatadas por todos. Los consensos debían surgir de la discusión libre y exhaustiva para eliminar aquellos malos entendidos y alcanzar consensos en los siguientes aspectos:

1. La definición de nociones químicas importantes, tales como las expresadas por las palabras "átomo", "molécula" y "peso atómico".

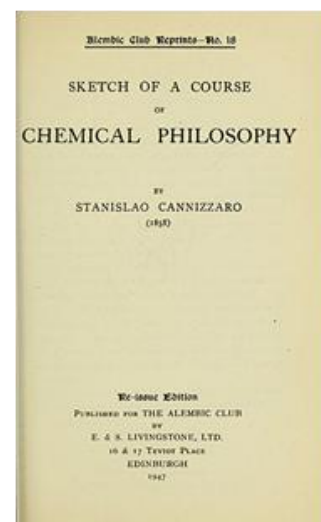


Figura 12: Las ideas que se desarrollan en el "Bosquejo de un curso de filosofía química", de naturaleza pedagógica, tuvieron como objetivo explicar a los estudiantes y a la vez despejar sus propias dudas sobre las confusiones existentes en esos años en el campo de la química. Contra su intención inicial, la forma didáctica en la que desarrolla sus ideas centrales, apoyadas en la ley de Avogadro, que la aceptó como una herramienta básica, a partir de la cual avanzó en una explicación más razonada sobre átomos y moléculas, peso atómico de los elementos químicos a partir de los cuales quedaron sentadas las bases de una teoría atómica sólida para la época, y fundamental para el desarrollo de la química moderna a partir de su presentación en el Congreso de Karlsruhe en 1860.

2. El examen de la cuestión de los equivalentes y de las fórmulas químicas.
3. La institución de una notación y una nomenclatura uniformes.
4. Conciliar todas las opiniones y eliminar todos los desacuerdos de inmediato.
5. Con el objetivo de evitar omisiones lamentables, el abajo

firmante solicita que las personas a quienes se envíe esta circular se la comuniquen a sus amigos científicos debidamente autorizados para asistir a la conferencia prevista.

El Congreso propuesto se reunió en Karlsruhe entre el 3 y el 5 de septiembre de 1860, quedando la

trataban tanto epistolamente como personalmente.

Tanto Kekulé como Cannizzaro leyeron el trabajo de Clausius publicando en 1857. Kekulé y Clausius fueron amigos (1858-1859), la que se desarrolló de una visita del físico a Alemania. Tanto la lectura de los elementos de la

podía ser comprobada. Julius Lothar Meyer (1830-1895), amigo de Kekulé y con el cual existía un amplio intercambio epistolar, era partidario de la posición de Cannizzaro.

Los organizadores compartían muchos de los criterios de Cannizzaro sobre la dirección que debería tomar la química. El idioma de la conferencia fue el francés, y la participación de Cannizzaro fue significativa, a tal grado que muchos de los criterios que fueron consensuados en el Congreso sentaron la base de la química de los años por venir.

Aunque las invitaciones fueron cursadas a 45 químicos de Alemania, Inglaterra, Francia, Italia, Austria y Rusia, el interés despertado en esta reunión determinó que a sus sesiones asistieran del orden de 127 químicos de distintas regiones de Europa. En la Tabla 4 se listan los nombres de los asistentes por país y se destacan los que tuvieron un papel importante en el desarrollo de la Tabla Periódica de los Elementos hasta la propuesta por Dmitiri Mendeleev, quien asistió al Congreso al momento de estar en Heidelberg realizando actividades de posdoctorado. También asistió Luis Pasteur (1822-1895).

La apertura estuvo a cargo del Prof. Weltzien a las 9 h del 3 de setiembre. A las 11 h de ese día, el Dr. H. Kopp comienza el trabajo de las comisiones. La



Figura 13: Foto del Prof. C. Weltzien [9], quien inauguró la conferencia el 5 de setiembre de 1860 y foto del palacio de la ciudad de Karlsruhe, construida bajo la influencia de la arquitectura francesa de la época del Rey Sol. Del castillo surgen calles según diagonales centradas en el palacio.

organización a cargo del Prof. Weltzien (Figura 13), de la Escuela Politécnica de esta ciudad en carácter de Comisionado General. A las sesiones asistieron 140 químicos que se reunieron en las instalaciones provistas por el Archiduque Friederich I (1826-1907) de Baden, quien financió la organización del Congreso, siendo este un factor importante al momento de la elección de la ciudad de Karlsruhe, en el borde norte de la Selva Negra, de gran atractivo turístico. En esa época, la mayoría de los químicos de las universidades europeas, por su número reducido, se conocían y

teoría cinética en la que trabajaba Clausius en esa época como el contacto personal fue un punto de partida para la discusión entre las ideas de átomos físicos y átomos químicos, conceptos en discusión en esa época.

En consecuencia, la noción de moléculas diatómicas, por ejemplo, se fue incorporando en el espíritu de los químicos, que llegaron a Karlsruhe para discutir estos problemas en 1860.

Cannizzaro apoyaba la hipótesis de que no debían existir diferencias entre el átomo de la teoría cinética y el "átomo químico", mientras que para Kekulé esta generalización no

primera sesión se abocó a discutir los conceptos de molécula y átomo. Kekulé y Cannizzaro, cuyos estudios previos abarcaron especialmente este tema fueron los voceros donde se plantearon los distintos puntos de vista entre ellos. Kekulé enfatizó la necesidad de distinguir entre la molécula y el átomo y, al menos en principio, entre la idea de la molécula física y la molécula química. Cannizzaro por otro lado no distinguía entre ambos tipos de moléculas. Para él solo existían moléculas físicas, y la ley de Ampère-Avogadro era la base de las consideraciones relativas a la molécula química y que esta era equivalente a las moléculas gaseosas en la ley de Avogadro.

La visión de Wurtz y de otros se orientó a distinguir átomos de moléculas, las cuales pueden estar formadas por dos átomos, idea que proviene de consideraciones físicas.

El resumen de estas deliberaciones, en palabras del Dr. H. Kopp fortalece la necesidad de separar la idea de molécula de la de átomo; que la noción de molécula puede fijarse con la ayuda de consideraciones puramente químicas; que la definición no tiene por qué implicar únicamente la densidad; y, finalmente, que parece natural llamar molécula a la mayor cantidad y átomo a la menor cantidad.

Las consultas que se plantearon a la asamblea para su discusión fueron:

1. ¿Es apropiado establecer una distinción entre los términos molécula y átomo, y llamar moléculas, que son comparables en cuanto a propiedades físicas, las cantidades más pequeñas de cuerpos que entran o salen de una reacción, y llamar átomos a las cantidades más pequeñas de cuerpos que están contenidas en estas moléculas? "

2. "¿Se puede eliminar la expresión átomo compuesto y reemplazarla por las expresiones radical o residuo?"

3. "¿Es la noción de equivalentes una idea empírica e independiente de la de molécula y la de átomo?"

La segunda sesión fue presidida por el Dr. Jean Baptiste Boussingault (1802-1887), químico cuya actividad estuvo orientada hacia aspectos aplicados antes que consideraciones teóricas o abstractas. Se planteó la discusión sobre la química vieja y la nueva química. El presidente opinó que esto no era cierto y que los que envejecen son los químicos, dando a entender que la disciplina avanza.

En esta oportunidad, la Comisión de trabajo no elaboró las consultas para la Asamblea, por lo que la sesión retomó la discusión previa. En ella Kekulé amplía los puntos especificados sobre la discusión sobre átomos y moléculas. En este contexto se preguntó sobre la disyuntiva de si se debía recurrir a la hipótesis

atómica o si bastaba atacar el tema con una hipótesis dinámica. Kekulé se inclinó sobre la primera alternativa. Planteó que la hipótesis de Dalton había sido verificada. En lo personal, señaló que se podían considerar pequeñas unidades o componentes en gases, y que en las reacciones químicas deberían existir cantidades que se intercambian en la menor proporción y nunca como una fracción de esta proporción. Según Kekulé, estas cantidades son las más pequeñas que podrían observarse en estado libre y a su criterio estas eran, a su criterio, las moléculas químicas. Planteó que los átomos son absolutamente indivisibles y los elementos libres consisten en moléculas formadas por átomos. Así, la molécula de cloro se forma a partir de dos átomos. Propuso diferentes unidades moleculares y atómicas, a saber;

1. Moléculas físicas
2. Moléculas químicas
3. Átomos

La mayor duda de Kekulé se originaba en que no estaba demostrado que las moléculas que jugaban un papel importante en los fenómenos de calor (Clausius) fueran idénticas a las moléculas químicas, idea a la que adhería. Kekulé planteaba que la existencia y magnitud de moléculas químicas puede y debe ser determinada por demostraciones químicas y que los hechos físicos no son suficientes para lograr

este resultado. Así, planteaba la pregunta si era posible con la

ayuda de consideraciones físicas, ¿cómo se podría demostrar que

el ácido clorhídrico se forma a partir de un solo átomo de Hidró-

Tabla 4: Lista de participantes durante el Congreso [3].

Alemania		Bélgica	Inglaterra	Portugal
G. Quinke;	Gundelach;	Stas;	Apjohn;	
Landolt;	Schroeder;	A. Kekulé	Al. Crum Brown,	Mide Carvalho
Lothar Meyer;	R. Schmidt,	Donny.	Wanklyn,	
Guckelberger;	Zwenger;		F. Guthrie;	Rusia
Streng;	Geiger;		Anderson;	
E. Winkler;	Bibra;	Francia	B. J. Duppa,	Kharkov:
v. Gorup-	Grimm;	A. Bechamp, A. Gautier, C.G.	G. C. Foster,	Sawitsch;
Besanez;	Finck; Schonberg:	Mulhousen i.E. Th. Schneider; J.	Gladstone, Müller,	Borodin,
v. Babo,	R. Hofmann; Keller,	Nickles; Boussingault, Dumas,	Noad,	Mendeleev;
Schneyder;	v. Fehling,	C. Friedel, L. Grandeau,	A. Normandy,	L. Schischkoff,
Boeckmann,	W. Hallwachs;	Le Canu,	Odling;	Zinin
H. Kopp,	Finckh,	Persoz, Alf. Riche, P. Thenard,	Roscoe;	
H. Will;	A. Naumann,	Verdet,	Daubeny,	
Y. Beilstein;	A. Strecker;	Wurtz;	G. Griffeth,	
W. Heintz;	Kassermann,	Jacquemin, Oppermann, F.	F. Schickendantz^(*);	
Heeren;	R. Fresenius,	Schlagdenhaussen,	Abel.	
Becker,	C. Neubauer;	Schützenberger; Ch. Kestner,		Italia Polonia
O. Braun,	Scherer, v.	Scheurer-Kestner. V	Cannizarro;	T. Lesinski,
R. Bunsen,	Schwarzenbach.		Pavesi	J. Natanson
L. Carius,	C. W. Blomstrand			
E. Erlenmeyer,			Austria	Suecia
O. Mendius,				J. H. Gilbert
Schiel;			Hlasiwetz;	Suiza
Lehmann,			Th. Wertheim;	C. Brunner
H. Ludwig;			V.v.Lang,	H. Schiff
A. Muller,			A. Lieben,	C. Marignac
J. Nessler			Folwarezny, F.	Bischoff
Hirzel,			Schneider	A.v. Planta
Knop,				J. Wislicenus
Kuhn;			España	Méjico.
			R. de Suna	Posselt

(*) Friedrich Schickendantz (1837-1896) fue un alemán naturalizado argentino, quien en 1861, estando en Oxford se trasladó a Catamarca donde desarrolló actividades de mineralogía, química y botánica. En Catamarca clasificó distintas plantas e identificó alcaloides. Varias especies fueron designadas con su nombre. Fue tutor del investigador tucumano Miguel Lillo (1862-1931). Posteriormente, Schickendantz enseñó química en el Museo de La Plata hasta su fallecimiento (1892-1891).

geno y un solo átomo de cloro? ¿No sería suficiente multiplicar la fórmula HCl por un cierto coeficiente y hacer lo mismo con todas las demás fórmulas para establecer una concordancia perfecta entre las propiedades físicas?

Al contrario de la opinión de Kekulé, Cannizzaro señaló que la distinción entre moléculas físicas y químicas no le parece necesaria ni claramente establecida.

Por su parte, Wurtz expresó que la distinción entre los términos "Molécula" y "átomo", a esa altura de la reunión se podía dar por concluida y solo se debía aclarar el sentido de las palabras de uso común.

Las idas y vueltas sobre este tema no produjeron ninguna resolución de los miembros de la Asamblea.

En esta etapa de la sesión, presidida por H. Kopp, se discutió también el tema de la notación. Kekulé presentó sus ideas sobre este punto entendiendo que podrían emplearse una notación atómico-molecular (representa a las moléculas) o una notación basada en equivalentes. Algunos ejemplos que presentó se muestran en la Tabla 5.

La recomendación planteada por Kekulé era la de no mezclar las notaciones y confundirlas como era común entre los químicos de la época. Sin embargo, la recomendación fue dejarla de lado. Kopp y otros opinaron que

era importante adoptar una notación cuyos símbolos expresasen siempre el mismo valor.

Dumas retoma el tema de los inconvenientes que surgen de las confusiones existentes entre sus contemporáneos y cómo esto

Tabla 5: Notación según Kekulé. Az es nitrógeno.

Sustancia	Ácido clorhídrico	agua	amoníaco
Notación molecular	HCl	H ₂ O	H ₃ Az
Notación por equivalente	HCl	HO	HAz

En consecuencia, Kopp fue partidario de apoyarse en los avances de la ciencia, y por lo tanto algunos pesos atómicos duplicarse, introduciendo una notación adecuada para representar estos casos. Se acuerda omitir o eliminar la notación de trazar una barra a través de las letras alfabéticas que simbolizan al elemento con pesos atómicos dobles (Ver la Tabla 2).

La sesión concluye con la pregunta a presentar a la Asamblea: "¿Es deseable armonizar la notación química con los avances recientes en la ciencia duplicando un cierto número de pesos atómicos?".

La tercera sesión del Congreso fue presidida por A. Dumas. En la misma, Kekulé reformuló la pregunta de la sesión previa en los siguientes términos: ¿Los recientes avances en la ciencia justifican un cambio en la notación?

podría afectar tanto la enseñanza como los avances científicos en el campo de la química, así como la confiabilidad del trabajo en la industria química.

Reconoce el valor de la tabla de pesos atómicos propuesta por Berzelius para la química y como la guía en las operaciones industriales.

Wurtz, en la línea de Dumas, plantea retomar la notación de Berzelius y los pesos atómicos. Wurtz reconoció el trabajo de Gerhardt, aunque indicó que su notación no era la más adecuada para ser adoptada.

Al plenario, para su consideración, se dirigieron las siguientes cuestiones:

1. ¿Es deseable armonizar la notación química con los avances de la ciencia?
2. ¿Es apropiado volver a adoptar los principios de Berzelius, en lo que respecta a la notación, al producir algunas modificaciones de estos principios?

3. ¿Es deseable distinguir los nuevos símbolos químicos de los que se usaban generalmente hace quince años con la ayuda de signos particulares?

Cannizzaro planteó que no era lógico retroceder a la época de Berzelius dejando de lado los avances logrados desde su época. En particular, hacia 1860, el sistema de Berzelius había experimentado distintas modificaciones que condujeron hasta Gerhardt y sus formulaciones. En particular, existieron resultados que alejaron a Gerhardt de la teoría de Avogadro a pesar de haberse apoyado en ellos para sus contribuciones. En particular, las medidas de densidades de compuestos como cloruro de amonio y de pentacloruro de fósforo entre otros, fueron causales de este apartamiento de la teoría. Sin embargo, Henri Sainte-Claire Deville (1818–1881) mostró que las medidas anómalas de densidades de gases debían identificarse con la disociación por calentamiento de estas sustancias en la fase gaseosa y su recombinación a bajas temperaturas. Estos fenómenos escaparon a la interpretación de Gerhardt antes de su fallecimiento en 1856 y a su alejamiento de esa ley (<https://prabook.com/web/henri.deville/3753658>).

En sus estudios, Deville contribuyó a confirmar la hipótesis de Avogadro.

El químico italiano fue el primero en reconocer el significado profundo de la hipótesis de Avogadro a partir de la cual podría obtenerse un método para la determinación de pesos atómicos, tal como lo plasmó en el Congreso. Reconoció que Gaudin había aceptado esta teoría sin reservas, distinguiendo claramente entre los conceptos de átomo y moléculas y que podían existir en fase gaseosa cuerpos simples que no debían contener el mismo número de átomos, por ejemplo, H_2 , O_2 , P_4 , Hg . Estos hechos los describió en su texto cuya portada en inglés se muestra en la Figura 12 [8].

Los químicos adoptaron los nuevos pesos atómicos ($C=12$, $O=16$, etc.) con el valor (arbitrario o de referencia) de $H=1$ para el hidrógeno. Los pesos equivalentes para C y O, por ejemplo, se simbolizaban de esta forma: para C y Θ con los valores de 6 y 8 respectivamente, pero esta notación que era similar a la de Berzelius, dejó de usarse con el tiempo. En estos casos los símbolos están cruzados por una línea.

Después de una extensa discusión, en la sesión se resolvió mantener el sistema de fórmulas introducidas por Berzelius.

Al final de la reunión de tres días, el Dr. Angelo Pavesi, profesor de química en la Universidad de Pavía, amigo y mentor de Cannizzaro, distribuyó copias del

texto “Sunto di un corso di filosofia chimica”, donde se presentaban argumentos para distinguir átomos de moléculas y para establecer pesos atómicos y fórmulas moleculares. El impacto causado entre los presentes, convirtió a este casi desconocido profesor de química de la Universidad de Génova en uno de los referentes de la química que se gestaría a posteriori del Congreso de Química de mitad del siglo XIX, junto a Kekulé y Wurtz.

Este documento se volvió fundamental para la química de finales del siglo XIX y especialmente para el resurgimiento del interés en la hipótesis de Avogadro de la relación entre los volúmenes de gas y el número de moléculas de gas.

RESULTADOS DEL CONGRESO DE KARLSRUHE

Los comentarios previos muestran que el Congreso no alcanzó acuerdos definitivos. Aunque no se cumplieron las expectativas, el congreso fue el evento más relevante en el campo de la química del siglo XIX. Fue el primer Congreso de la disciplina y a partir de allí se desarrollaron otras reuniones como por ejemplo en París (1867), Moscú (1872), Viena (1873) y Filadelfia (1876), [10].

La reunión de un gran número de químicos de distintos países tuvo un efecto positivo en el desarrollo de la disciplina.

Entre algunos acuerdos, pueden destacarse

1. Se retuvo el estilo de fórmulas de Berzelius, por ejemplo, H para el átomo y el símbolo H para la molécula.
2. Adopción de nuevos pesos atómicos (ahora masas atómicas) para elementos como el hidrógeno (1), carbono (12), oxígeno (16), etc.
3. Mejora en la representación de los compuestos químicos propuesta por Kekulé, poniéndose así los químicos de acuerdo en cuanto a las fórmulas de los compuestos más importantes.

Algunos aspectos que implicaron consensos entre los presentes fueron:

1. Reconocimiento de que ciertos elementos como el hidrógeno, oxígeno, nitrógeno o cloro son sustancias formadas por moléculas diatómicas y no átomos individuales.
2. Sobre los trabajos de Berzelius, Dumas, Laurent y Gerhardt, Cannizzaro estableció una clara distinción entre átomos y moléculas.
3. Aplicó la hipótesis de Avogadro a la determinación de los pesos de las moléculas, diferenciando entre el peso de la molécula de hidrógeno (2), el peso del átomo (1).
4. El importante aporte realizado por el químico inglés Edward Frankland en relación a sus

estudios sobre el concepto de valencia.

5. Se reconoció el papel del químico inglés Edward Frankland (1825-1899), quien en 1852 introdujo el concepto de valencia de los elementos según la cual "los átomos de cada elemento individual tenían una capacidad específica propia para combinarse con los átomos de otros elementos, determinando las proporciones en las que se unían para formar compuestos". Este concepto posteriormente fue empleado por Lothar Meyer y Dimitri Mendeleev, asistente al Congreso, para construir sus respectivas propuestas de Tablas Periódicas.

La elocuencia y la lógica de Cannizzaro dejaron una huella indeleble entre sus colegas. Además, su amigo Angelo Pavesi (profesor de Pavía) distribuyó el texto de Cannizzaro "Sunto di un corso di filosofia chimica" entre los asistentes al finalizar la reunión.

Cannizzaro, por tanto, jugó un papel crucial al promover las reformas. El sistema defendido por él, y poco después adoptado por la mayoría de los principales químicos, es básicamente similar al que se empleó en los años subsiguientes.

Dos de los participantes al Congreso, Lothar Meyer y D. Mendeleev comprendieron el valor del trabajo de Cannizzaro.

Lothar Meyer, expresó que después de leerlo sintió "como si

las vendas cayeran de mis ojos, la duda desapareció y la sensación de tranquila certeza ocupó su lugar". [12].

Por su parte, Mendeleev, en su libro *Principles of Chemistry* (traducido del ruso) de 1901 escribiría: Muchos de los presentes probablemente recuerden cuán vanas fueron las esperanzas de llegar a un entendimiento y cuánto terreno ganaron en ese Congreso los seguidores de la teoría unitaria tan brillantemente representada por Cannizzaro. Recuerdo vívidamente la impresión que produjeron sus discursos, que no admitían ningún compromiso y parecían abogar por la verdad misma, partiendo de las concepciones de Avogadro, Gerhardt y Regnault, que en ese momento estaban lejos de ser generalmente reconocidas. Y aunque no se pudo llegar a ningún entendimiento, sin embargo, se alcanzaron los objetivos de la reunión, ya que las ideas de Cannizzaro demostraron, después de unos años, ser las únicas que podían resistir la crítica, y que representaban un átomo como 'la más pequeña porción de un elemento que entra en una molécula de su compuesto. Solo esos pesos atómicos reales, no los convencionales, podrían proporcionar una base para la generalización [13].

Visto desde esta perspectiva, el Congreso de Karlsruhe produjo un cambio fundamental en el desarrollo de la química. La Tabla

Periódica de los Elementos, desde Mendeleev, Lothar Meyer, y otros hasta el presente es el resultado más significativo de las discusiones desarrolladas en su seno.

REFERENCIAS

[1] J. Dalton, "A new System of Chemical Philosophy" (1808), 213-214.

[2] A. Avogadro, Journal de Physique, de Chemie et d'Histoire Naturelle, (1811), 73, 58-76)

[3] M. Jo Nye, The Question of the Atom, From the Karlsruhe Congress to the First Solvay Conference, 1860-1911, Volumen 4, The history of Modern Physics, 1860-1950 series, Thomash Publishers, 1984).

[4] A. W. Brown, Nature, 1923, 112, 793

[5] A. J. Rocke, Image and Reality, Kekulé, Kopp, and the Scientific Imagination, The University of Chicago Press, Ltd., London, 2010.

[6] L. Dunsch, Jöns Jacob Berzelius, BSB B. G. Teubner Verlagsgesellschaft, 1986, pp 58.

[7] R. Clausius, Annalen der Physik, 1857, 100, 497-507,

[8] J.R. Partington, A History of Chemistry, volumen 4. 1964. 464, MacMillan Education.

[9] K. P. Hoepke, Geschichte der Fridericana. Stationen in der Geschichte der Universität Karlsruhe, von der Gründung 1825 bis zum Jahr 2000,

Universitätsverlag Karlsruhe, 2007

[10] M. W. Mönnich, Chemistry International (IUPAC), 2010, 32 (Nro 6), 1-7.

[11] R.Cid Manzano, Revista Eureka Enseñanza y Divulgación de las Ciencias, 2009, 6, 396-407.

[12] J. L. Meyer, Anmerkung en: "Klassiker de Ostwald", Wilhelm Engelmann Verlag, Leipzig, 1891, 30, 51-61.

[13] D. Mendeleff, Principles of Chemistry, Editorial P.F. Collier and Son, Part IV, Anexo II, pp 473, Toronto, 1901 [12] E. Belocopitow, Redes. 1998, V (11), 141-163.

La Importancia de la Radiactividad en Nuestra Vida

Laura Damonte*

INTRODUCCION

Usualmente ante la pregunta ¿qué es la radiactividad?, la respuesta inmediata y más frecuente está asociada a bombas (Nagasaki e Hiroshima, 1945) y grandes catástrofes. Los accidentes de las centrales nucleares de Chernobyl (25 de abril de 1986) y de Fukushima (11 de marzo de 2011) como consecuencia del terremoto y posterior tsunami han sensibilizado a la población con respecto a las temáticas nucleares. La emisión de películas y miniseries (Chernobyl, 2019), vuelve a despertar interrogantes acerca de la seguridad de las centrales nucleares y su peligrosidad generando desconfianza sobre su instalación en nuestro país.

Sin embargo, la tecnología nuclear es utilizada en un sinnúmero de aplicaciones y actividades huma-

nas de las que se tiene poco conocimiento y muchas veces muy cerca de nuestro entorno.

Gracias a las nuevas tecnologías médicas, a la difusión en medios públicos, a la formación y capacitación en diferentes ámbitos públicos y privados, la percepción del uso de material radiactivo está cambiando.

Las actividades del hombre relacionadas con la tecnología nuclear y su uso benéfico son numerosas y variadas: investigación, datación, medicina, arqueología, industria, agronomía, energía, etc. Pero antes de referirnos a algunas de ellas en particular es pertinente hacer algunas consideraciones históricas y definiciones.

Un poco de historia...

El descubrimiento de la radiactividad natural (1898) marcó un hito histórico en el conocimiento científico. Las investigaciones llevadas adelante por Becquerel (1852-1908) sobre la fosforescencia de sales de uranio lo condujeron a encontrar un nuevo fenómeno espontáneo que ionizaba el aire y afectaba las placas fotográficas (1896). Marie

Skłodowska-Curie (1867-1934) con la colaboración de su esposo Pierre Curie (1859-1906) trabajando en el estudio de otros minerales (la pechblenda) observaron este fenómeno espontáneo pudiendo medir su capacidad de radiación. Así descubrieron dos nuevos elementos, el polonio y el radio con capacidades de radiación superiores a la del uranio. Este fenómeno, denominado radioactividad por la misma Marie Skłodowska, les hizo merecedores del premio Nobel de Física compartido por Becquerel y los esposos Curie en 1903. En 1911, Marie Skłodowska recibió su segundo premio Nobel, en el área de Química por sus contribuciones a la separación y caracterización de dos nuevos elementos, el polonio y el radio.

Como mencionamos, el hallazgo de la radiactividad impulsó estudios y experimentos en todo el mundo científico replanteando muchos de los postulados admitidos por entonces en la física. En particular, permitió conocer la estructura de la materia y la constitución del átomo, cuestionando su invariabilidad. Así, el

Departamento de Física, Instituto de Física La Plata (IFLP), UNLP, CONICET, Calle 48 y 115, (1900), La Plata.

E-mail: lauradamonte@gmail.com

experimento clásico de dispersión de Rutherford (1911) bombardeando láminas de oro con partículas *alfa*, demostró que el átomo consistía en una región muy pequeña ($r_{\text{nucl}} \sim 10^{-15} \text{m}$) de masa positiva denominada núcleo, alrededor de la cual se ubican los electrones en órbitas del tipo planetario. El modelo atómico establecido actualmente sostiene que los átomos están compuestos de un núcleo central que concentra la masa del átomo ocupada por los nucleones, protones cargados positivamente y neutrones eléctricamente neutros. En tanto, los electrones de mucha menor masa y carga eléctrica negativa ocupan con cierta probabilidad diversos niveles de energía generalmente, fuera del núcleo. Estas investigaciones fueron los prime-

ros pasos de una nueva rama de la física, la física nuclear.

¿A qué llamamos radiactividad?

La radiactividad es un fenómeno físico natural de transformación espontánea de los núcleos atómicos mediante la emisión de radiaciones. Bajo ciertas circunstancias los núcleos pueden ser inestables y transformarse en otros mediante la emisión de partículas y radiaciones. Estas radiaciones tienen la propiedad de impresionar placas fotográficas, ionizar gases, producir fluorescencia, atravesar cuerpos opacos a la luz, etc. Al hablar de radiaciones u ondas electromagnéticas tenemos que referirnos al espectro electromagnético (EE). Las ondas electromagnéticas están presentes en nuestro

mundo en un rango de longitudes de onda o energías muy amplio extendiéndose desde las longitudes de radio (10^3m) hasta los rayos X (10^{-10}m) pasando por la luz visible que ocupa una porción muy pequeña del espectro. Dentro del EE debemos distinguir entre las radiaciones ionizantes y las no ionizantes. Las radiaciones ionizantes son aquellas que producen ionizaciones, es decir, pueden liberar electrones de las capas atómicas, modificando su estructura y en consecuencia, producir daño en un tejido biológico.

Al referirnos a las radiaciones ionizantes incluimos aquí no solo a los rayos X y *gamma*, sino también a partículas tales como electrones, protones, partículas *alfa* y neutrones.

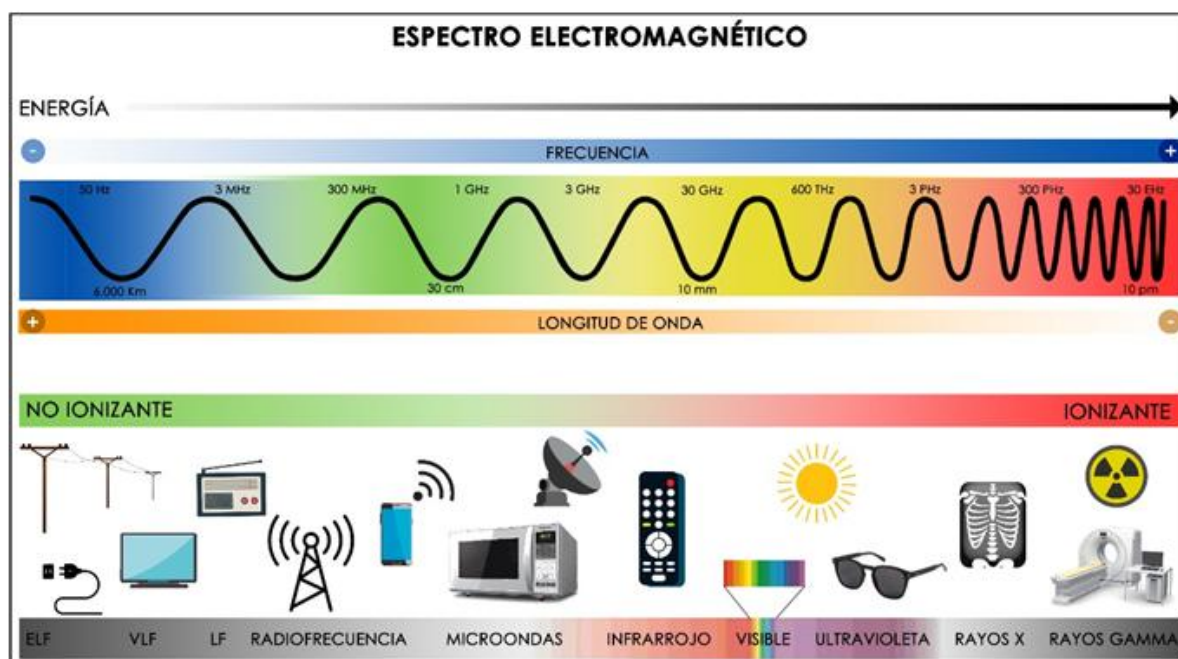


Figura 1. Espectro Electromagnético.

¿PODEMOS VIVIR EN UN MUNDO SIN RADIATIVIDAD?

La radiactividad es parte natural de nuestro medio ambiente. Nuestro planeta ha sido radiactivo desde su creación y los radionucleídos se encuentran en el suelo, el aire, en el agua y en nosotros mismos. La radiación cósmica proveniente directa o indirectamente del exterior del planeta se clasifica en primaria (protones, electrones, iones helio, neutrinos) y secundaria (originada en reacciones con la atmósfera, radionucleídos cosmogónicos ^{14}C , ^7Be , ^{22}Na , protones neutrones, piones). El ^{14}C es el utilizado para la datación en sistemas biológicos. Desde los orígenes de la tierra existen los

núcleos primordiales, que constituyen las llamadas cadenas naturales: ^{232}Th , ^{238}U , ^{235}U , todas ellas terminan en isótopos estables del plomo. Dentro de los nucleídos primordiales, así llamados porque sus vidas medias son del orden de la vida de la Tierra ($4,5 \times 10^9$ años), encontramos el 40K presente en muchos alimentos (banana, habas, nueces), y en nosotros mismos. Un producto natural de las cadenas del uranio es el radón, un gas noble incoloro, inodoro e insípido cuyos isótopos son todos radiactivos. El ^{222}Rn cuya vida media es de 3,5 días, es el que más contribuye a la dosis de radiación natural que recibimos desde el punto de vista de la

protección radiológica. Se filtra desde el suelo al interior de las casas que deben ventilarse periódicamente para evitar una gran concentración de este gas.

A su vez, hay otras fuentes de radiación vinculadas con la actividad humana, o artificiales. La mayor contribución es la debida a exploraciones médicas incluidas las de diagnóstico y tratamiento en medicina nuclear, RX, tomografías, etc.; la lluvia radiactiva (en inglés *fallout*) debida a los ensayos de armas nucleares en la atmósfera y accidentes, centrales nucleares y otras industrias. Como puede apreciarse de la Figura 1, los habitantes de este planeta recibimos de las fuentes naturales

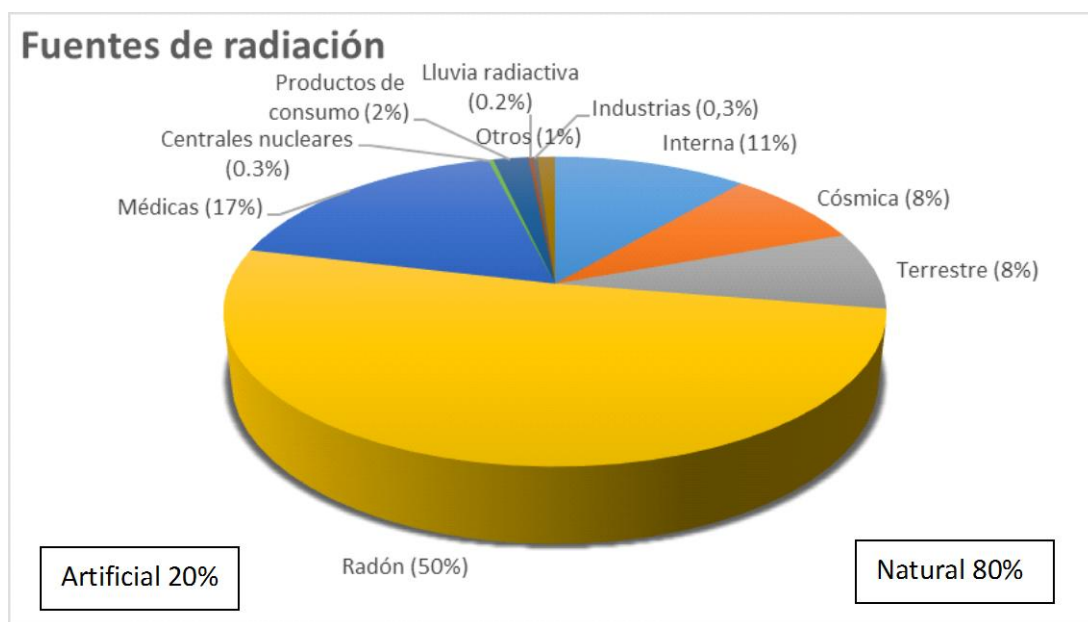


Figura 2. Contribución de las fuentes de radiación, naturales y artificiales.

la mayor contribución de radiación.

LOS BENEFICIOS DE LA RADIATIVIDAD

Los procesos de desintegración nuclear dan lugar a la emisión de partículas *alfa* (núcleos de He, 2 protones y 2 neutrones), *beta* (electrones y positrones), rayos *gamma* (de origen nuclear) y X (de origen atómico). Una vez conocidos estos fenómenos el hombre ha sabido utilizarlos en un gran número de aplicaciones técnicas y científicas de gran relevancia en el desarrollo humano. Lamentablemente también para usos bélicos, los cuales dejaron una gran cantidad de personas fallecidas y con daños permanentes como así también afectando seriamente el medio ambiente. A pesar de las graves consecuencias de estas actividades, hoy en día la actividad nuclear es una de las más controladas para evitar tanto los efectos sobre las personas como así también la protección del medio ambiente y las generaciones futuras.

En el año 1928, durante el primer Congreso Mundial de Radiología se creó la Comisión Internacional de Protección Radiológica (ICRP) que funciona hasta la actualidad. Este organismo internacional provee las recomendaciones sobre la protección radiológica. El Comité de las Naciones Unidas para el Estudio de los Efectos de las Radiaciones ionizantes (UNSCEAR) brinda las bases

científicas sobre las que se fundan las recomendaciones y controles. Asimismo, la Agencia Internacional de Energía Atómica (IAEA) establece la normativa para el uso y manejo de material radiactivo. Los diferentes países han firmado acuerdos con la AIEA para adecuar su normativa en materia nuclear a la normativa internacional. Nuestro país tiene su propio organismo de control, la autoridad Regulatoria Nuclear (ARN), ente autárquico dependiente de la Presidencia de la Nación, que "...regula la actividad nuclear en las áreas de seguridad radiológica y nuclear, salvaguardias y no proliferación, y protección y seguridad física."

Bajo estas condiciones las radiaciones ionizantes se aplican en la mayoría de los campos de nuestra vida. La radiación *gamma* se utiliza en esterilización para destruir microorganismos tales como hongos, bacterias, larvas, etc. en insumos médicos y sanitarios, protección de obras de arte, preservación de alimentos, frutas, vegetales, etc. La radiografía y gammagrafía industrial utiliza radiación X o *gamma* para la localización de fallas en soldaduras de tuberías o caños sin destruir los materiales. Se utilizaban materiales radiactivos en detectores de incendio y como pinturas luminiscentes en relojes y tableros de instrumentos, pero ambos usos fueron reemplazados por otros materiales. Muchos isótopos radiactivos se utilizan en investigación en diferentes ramas

y con distintos objetivos en Biología, Física, Ciencia de Materiales, Arqueología, Paleontología, entre otras. Para la producción de energía eléctrica en las plantas nucleares, producción de radioisótopos en reactores nucleares para diversos usos: diagnóstico y tratamiento de enfermedades, investigación, docencia.

Nuestro país tiene una gran trayectoria en tecnología nuclear desde la creación de la Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA) en 1950. Cuenta actualmente con 3 centrales nucleares que proveen alrededor del 5% de la matriz energética total, que proviene en su mayoría (85%) de fuentes tradicionales y un 10% de fuentes renovables. Estas centrales son Atucha I y Atucha II ubicadas a orillas del Río Paraná en la localidad de Lima, Prov. Bs.As. Ambas utilizan uranio levemente enriquecido como combustible y cuentan con todos los protocolos y exigencias de seguridad nacionales e internacionales. La central nuclear Embalse, fue la segunda en instalarse en la Argentina, en la ciudad de Río Tercero en la provincia de Córdoba. El reactor de la central es CANDU (Canadian Deuterium Uranium) cuyo combustible es el uranio natural y su refrigerante y moderador el agua pesada. La potencia instalada total de sus tres plantas es de 1790 MW. Actualmente hay grandes avances en la negociación por la

construcción de la cuarta central nuclear, Atucha III, que se instalará en el polo Atucha de la ciudad de Lima y proporcionará casi la misma cantidad de energía que sus predecesoras. En ese mismo polo se está desarrollando el CAREM25, el primer reactor nuclear de potencia íntegramente diseñado y construido en Argentina. A su vez, nuestro país posee 5 reactores nucleares para la producción de radioisótopos e investigación ubicados en los Centros Atómicos de Ezeiza, Bariloche y Constituyentes. El principal productor de radioisótopos es el RA-3 que produce varios radionucleídos para la investigación, medicina e industria. El ^{99}Mo que decae a $^{99\text{m}}\text{Tc}$, es el radioisótopo de mayor producción de uso médico que se utiliza para diagnóstico en medicina nuclear a fin de obtener imágenes de diversos órganos a través de PET (*Positron Emission Tomography*), PET/CT, cámara gamma, y SPECT/TC (*Single Photon Emission Computed Tomography*), como corazón, cerebro, pulmones, hígado, bazo, riñón, vesícula biliar y médula ósea. Otro radioisótopo que se produce en este reactor es el ^{131}I que se utiliza en radioterapia para tratamientos de la tiroides. El RA-3 está próximo al fin de su vida útil, su reemplazo, el RA-10, se ubicará en Ezeiza y constituye un nuevo reactor argentino multi-propósito que se convertirá en un

polo regional de producción de radioisótopos e investigación científica.

¿CUÁN PELIGROSA ES LA RADIATIVIDAD?

“Cuando se estudian sustancias fuertemente radioactivas se deben tomar precauciones especiales. El polvo, el aire de la habitación y la ropa se vuelven radiactivos.” Marie Sklodowska.

Hay varios aspectos a tener en cuenta a fin de analizar la peligrosidad de la radiación, y uno de ellos es cómo percibimos o detectamos la radioactividad, ya que no se ve ni se siente de forma alguna. En consecuencia, debemos saber medir la radiación y evaluar los efectos que tiene sobre los materiales o seres vivos. Para ello, es necesario cuantificar la radiactividad, introduciendo algunas definiciones y conceptos.

La cantidad de radiación que emite una fuente radiactiva es su actividad, se mide en Bequerel, indica el número medio de desintegraciones por unidad de tiempo que experimenta una fuente radiactiva. Para evaluar el daño que puede producir en un medio material o tejido hablamos de la energía depositada en el medio a la que se denomina dosis y se mide en Sievert. Además, es importante conocer el tiempo que estamos “expuestos” a dicha fuente radiactiva, la tasa de dosis, que se mide en Sievert/h y la

distancia a la fuente radiactiva. La tasa de dosis \dot{D} puede escribirse en una forma simplificada como:

$$\dot{D} = \frac{\Gamma A}{d^2}$$

donde Γ es una constante que tiene toda la información del radionucleído involucrado, su esquema de desintegración y energía; A es la actividad de la fuente radiactiva y d la distancia a dicha fuente. Por tanto, cuanto menor sea la actividad de la fuente y mayor la distancia a la misma, menor será la dosis recibida.

La radiación ionizante incluye radiación electromagnética (rayos X y *gamma*) muy penetrantes y de diferente energía y partículas cargadas y neutras (radiación *beta*, partículas *alfa*, neutrones) que interactúan de diversos modos con la materia. Por tanto, es también fundamental conocer el tipo y la energía de la radiación incidente que se tiene en cuenta a través de un factor de ponderación de la radiación y cuál es el tejido afectado a través de un factor de ponderación del tejido. Esto significa que no es lo mismo recibir una dosis de partículas *alfa* sobre el cristalino o rayos *gamma* sobre la piel. Todos estos factores que influyen sobre los posibles daños de la radiación en un tejido biológico están contemplados en la Seguridad y Protección Radiológica (NORMA AR 10.1.1. NORMA BÁSICA DE

Tabla 1. Magnitudes y unidades en seguridad radiológica.

Magnitud	Unidad (S.I.)
Actividad (A)	Becquerel (Bq)
Dosis (D)	Sievert (Sv)
Tasa de dosis (dD/dt)	Sievert/hora (Sv/h)

SEGURIDAD RADIOLÓGICA).

La IAEA y en consecuencia la ARN han establecido los límites de dosis que cada población puede recibir para evitar los efectos nocivos de las radiaciones ionizantes y de seguridad de las fuentes de radiación. Al hablar de población nos referimos a los trabajadores y público en general. Los pacientes que están sometidos a diagnóstico o tratamiento con fuentes radiactivas no están sujetos a límites de dosis ya que esta exposición supone un beneficio para él.

En promedio, todos los habitantes de la Tierra recibimos una dosis

de radiación natural de 2,5 mSv al año. Cada grupo poblacional tiene establecido, según la Norma AR.10.1.1 los límites de dosis permitidos (Tabla 2).

A fin de tener una referencia de qué significa la dosis anual permitida de 20mSv, podemos mirar el esquema de la Figura 3, donde se establece la equivalencia de esta dosis con actividades de la vida cotidiana.

¿QUÉ ACTIVIDADES SE DESARROLLAN EN LA FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS DE LA UNLP?

En el Departamento de Física de la Facultad de Ciencias Exactas se desarrollan varias actividades ligadas al uso de material

radiactivo desde hace más de 50 años, en docencia, investigación, extensión y divulgación. En el área de investigación se utilizan diversos radioisótopos para distintas espectroscopías nucleares aplicadas al estudio de materiales. Los isótopos ^{111}In y ^{181}Hf se utilizan como sondas para caracterizar entornos atómicos mediante la técnica de Correlaciones Angulares Perturbadas (TDPAC); ^{57}Fe y ^{119}Sn como sondas para la espectroscopía Mössbauer (EM); ^{22}Na para la espectroscopía de medidas de vidas medias por aniquilación de positrones (PALS). Desde la década de 1990, funciona el Grupo de Investigación y Servicios de Radiactividad y Medio Ambiente (GISDRAMA), hoy en el Instituto de Física La Plata, (IFLP) que se creó a partir del estudio realizado sobre contaminación en leches provenientes de Europa luego del accidente de Chernobyl. Uno de sus objetivos principales es identificar posibles fuentes de

Tabla 2. Límites de dosis para el trabajador y el público.

Límite de dosis (mSv/año)	Exposición	Ocupacional	Público
Efectiva anual		20	1
Efectiva en cualquier año		50	5
En 5 años consecutivos		100	1
	Cristalino	120	15
	Piel	500	50

contaminación radiactiva en el ambiente y alimentos, estable-

así también el rol del Físico Médico tiene su historia que,



Figura 3. Comparación entre exposiciones ocupacionales y límite de dosis.

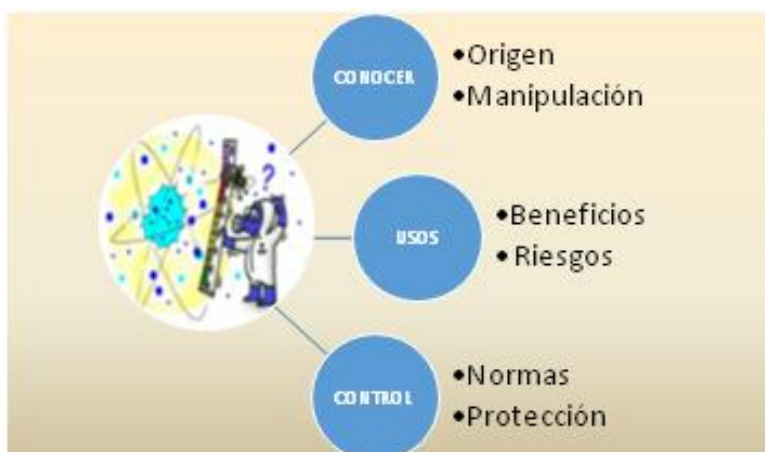


Figura 4. Esquema sobre qué debemos saber sobre la radiación.

ciendo niveles de base de concentraciones de radionucleí- dos naturales.

En cuanto a docencia, además de numerosos cursos de divulgación y capacitación en radiactividad y protección radiológica, desde el año 2002 se dicta la Carrera Licenciatura en Física Médica. Esta carrera, poco conocida como

podemos decir se inicia con Marie Sklodowska Curie, la primera física médica, quien creó las unidades radiológicas móviles durante la primer Guerra Mundial. Los físicos médicos crean un nexo entre la medicina y la física. Hoy en día son numerosas las técnicas médicas que utilizan isótopos radiactivos para diag-

nóstico y tratamiento de enfermedades básicamente cancerígenas. Muchos estudios de diagnóstico por imágenes requieren de la aplicación de un radioisótopo como marcador. Este "nuevo" campo en la medicina lo convierte en un trabajo interdisciplinario, en estrecha colaboración entre médicos, bioquímicos y físicos médicos con sólido conocimiento en la física de radiaciones, y su interacción con el tejido humano.

Muchos aspectos de la dosimetría y la protección radiológica deben considerarse en las instalaciones de servicios y centros de salud que trabajen con material radiactivo. Es en este sentido que recientemente hemos creado en el ámbito de la Facultad el Laboratorio de Dosimetría y Protección Radiológica (LaDoPro), cuyo objetivo es asesorar a la comunidad científica, los centros de salud públicos y privados, y el público en general, sobre el aseguramiento de la calidad en procedimientos que empleen radiaciones ionizantes.

Hay mucho más para saber sobre este fenómeno denominado radiactividad y las aplicaciones de la tecnología nuclear, esperamos despertar el interés en estas temáticas. Para finalizar me gustaría citar un pensamiento de Marie Slodowska Curie, "Nada en la vida debe ser temido, solamente comprendido. Ahora

es el momento de comprender más para temer menos".

REFERENCIAS

[1] Curie Eve, Madame Curie, Gallimard Folio, Paris, 1994.

[2] <https://www.iaea.org/es>

[3]

<https://www.argentina.gob.ar/arn>

[4] <https://www.iflp.unlp.edu.ar/>

Los Hongos Afectan a Pacientes con COVID-19

Elba Boggiano

RESUMEN

La micología (del griego μύκης, hongo y -λογία, estudio) es la ciencia que se dedica a estudiar los hongos, en todas sus denominaciones, formas y procedencias. El botánico francés Jean Jacques Paulet (1740-1826) propuso, en 1795, la palabra «mycologie» para difundir esta disciplina.

Es un área de las ciencias biológicas muy extensa y diversificada, atravesando desarrollos en la industria farmacéutica, en la alimentaria y en otras áreas tecnológicas, ocupando un rol significativo en diferentes disciplinas, entre ellas agronomía y veterinaria, acompañando, además, al hombre a lo largo de su historia, no solo en su alimentación, sino también causándole enfermedades. Surgiendo, así, la micología médica, una rama de la medicina, la cual analiza la incidencia de los hongos sobre la salud humana, desde intoxicaciones hasta infecciones, las cuales, en su mayoría, son provocadas por ser estos organismos “oportunistas”, es decir que aprovechan situaciones especiales para invadir y dañar a otro organismo vivo, en este caso al hombre, como se manifiesta en esta pandemia COVID-19, con las infecciones causadas por diversos hongos, entre ellos los Mucorales. Un orden fúngico muy extenso, que incluye más de 50 géneros fúngicos, pertenecientes a la División Mucormycota, anteriormente clasificada como una subdivisión (Mucoromycotina) dentro la división parafilética Zygomycota.

ALGUNOS DATOS DE LA HISTORIA

Los hongos están junto al hombre desde años remotos, en la prehistoria formaron parte de su alimentación, las civilizaciones antiguas, como la griega, romana e hindú los consideraron alimentos sagrados, en tanto en culturas mesoamericanas prehistóricas fueron ofrendas a sus dioses, quizás porque en ellas estuvieron más ligados a un fin místico o enteogénico que alimenticio, como lo refleja la obra del fray Bernardino de Sahagún

(1499-1590), misionero franciscano que arriba al Virreinato de la Nueva España en 1529 y en fragmentos del *Popol Vuh* y del *Chilam Balam*, libros que relatan la historia de la civilización Maya.

En la antigüedad, estos organismos son mencionados como setas, apareciendo en obras del poeta griego Eurípides (480-406 a. C.) y en una de las primeras clasificaciones de plantas, del filósofo y botánico griego, Teofrasto de Ereso (371-288 a. C.).

En los inicios de la Era Cristiana,

Plinio el Viejo (23-79 d. C.), escritor y militar romano, escribió sobre trufas, un hongo comestible, en su “*Naturalis historia*” y Dioscórides (40 – 90 d. C.), médico, farmacólogo y botánico de la antigua Grecia, se refirió a los usos terapéuticos de ciertas setas en su obra “*De re medica*”, algunas de las especies fúngicas mencionadas en ella, como *Amanita* y *Boletus*, han mantenido sus nombres hasta la actualidad.

Hasta el siglo XVII, los únicos hongos conocidos eran los macromicetos (macro: grande, vi-

sible, micetos: hongos), vulgarmente llamados “hongos de sombrero”, con cuerpos fructíferos o setas visibles a simple vista. Con la aparición y el uso del microscopio con fines científicos, se tuvo conocimiento de la existencia de hongos microscópicos. En el transcurso del Siglo XIX, se mejoraron estos instrumentos ópticos, logrando un mayor aumento y una mejora en la calidad de las imágenes, avances que permitieron comprender mejor la morfología fúngica. Durante el Siglo XX, con el advenimiento de otros tipos de microscopios, en especial el electrónico, se profundizaron, aún más, los conocimientos de las diferentes estructuras fúngicas.

El botánico italiano, Pier Antonio Micheli (1679-1737), publicó en 1729, su obra *Nova plantarum genera iuxta Tournefortii methodum disposita*, una de las primeras clasificaciones sistemáticas de plantas, hongos y líquenes, considerada como el punto inicial de las ciencias micológicas. Acuñó, además,

varios nombres científicos de importantes géneros fúngicos entre ellos *Aspergillus* y *Botrytis*, que se mantienen en la actualidad.

El científico, naturalista y botánico sueco, Carlos Linneo (1707-1778), considerado el creador de la taxonomía, creó, en 1731, un sistema de nomenclatura binomial para la clasificación de los seres vivos, en el cual la primera palabra indicaba el género, a la que seguía el nombre de la especie. Asimismo, fue quien agrupó los géneros en familias, estas en clases, a las cuales reunió en reinos. En 1753 publicó su trabajo “*Species plantarum*”, ubicando a los hongos junto a las plantas. Esta obra, es considerada el comienzo de la nomenclatura moderna en biología.

Desde estas primeras clasificaciones de los seres vivos, a los cuales Linneo agrupaba en dos reinos, “*Vegetalia*” y “*Animalia*”, ubicando a los hongos en el Reino Vegetal, le siguieron otros ordenamientos hasta llegar a mediados del siglo XX, cuando el botánico estadounidense, Robert Whittaker (1920-1980), propone crear el Reino de los Hongos o Reino Fungi, estableciendo, que estos organismos eucariotas eran absolutamente distintos a las plantas. En esta nueva clasificación se plantea que la diferencia de carácter crucial entre los reinos es el modo de

nutrición, los animales son heterótrofos, no pueden sintetizar su propio alimento, por el contrario las plantas, son autótrofas, al poseer clorofila realizan el ciclo de la fotosíntesis, un proceso en el cual obtienen energía y fabrican sus alimentos a partir de sustancias simples. En tanto los hongos, son organismos heterótrofos, carecen de clorofila, excretan enzimas digestivas y absorben nutrientes digeridos externamente. Otras diferencias notables entre los reinos, son los componentes de sus membranas celulares, las de los animales contienen colesterol, las fúngicas principalmente ergosterol.

Además, mientras que las paredes celulares vegetales están formadas por celulosa (un polímero de glucosa), las fúngicas, salvo contadas excepciones, tienen a la quitina (un polímero de glucosamina), como constituyente principal [7].

A finales del Siglo XX, los análisis filogenéticos moleculares han contribuido en gran medida a la comprensión de los orígenes de la evolución de los hongos, ayudando a corregir discrepancias en su sistematización. La última clasificación de los reinos de los seres vivos, fue propuesta, en 2015, por el biólogo estadounidense Michael A. Ruggiero, junto a su equipo de colaboradores, estableciendo siete reinos. Se basaron en los trabajos de Thomas Cavalier-Smith, biólogo inglés, quien propuso, en

1-Centro de Investigaciones de Fitopatología (CIDEFI CIC-UNLP); Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales. Universidad Nacional de La Plata.

2-Comisión de Investigaciones de la Provincia de Buenos Aires, Calle 60 y 119, La Plata, 1900, Argentina.

3-Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET).

1998, un sistema de seis reinos: animales, plantas, hongos, cromistas, protozoos y bacterias, a los cuales incorporaron el reino de las arqueas, diferenciándolas de las bacterias [5].

Dentro del Reino Fungi, los avances de las ciencias, han logrado reordenarlos taxonómicamente, el cual es un proceso dinámico que seguirá cambiando a medida que se logren nuevos conocimientos sobre su morfología, metabolismo y filogenia, no obstante y aunque no son plantas, el reconocimiento formal de la nomenclatura fúngica se rige, desde el año 2011 por el Código Internacional de Nomenclatura para algas, hongos y plantas.[6], el cual reemplaza al Código Internacional de Nomenclatura Botánica, creado en Viena en 1905.

MICOLOGÍA MÉDICA

La micología médica surge como una de las áreas de la medicina, ante la necesidad de tratar enfermedades provocadas en el ser humano y en animales, a partir del consumo o interacción con los hongos. Las afecciones micológicas más comunes son [1]:

- **Alergias:**

Reacciones de hipersensibilidad secundarias al contacto del hongo con la piel o las mucosas de personas susceptibles. Ejemplo de ella es la rinitis alérgica causada por *Alternaria alternata*.

- **Micotoxicosis:**

Intoxicación ocasionada por la ingestión de granos de cereales que han parasitado micromicetos tóxicos. Uno de los ejemplos más conocidos es la provocada por aflatoxinas, toxinas producidas por algunas especies de *Aspergillus*, los cuales pueden contaminar la harina de maíz y otros alimentos.

- **Micetismos:**

Intoxicación ocasionada por la ingestión de macromicetos tóxicos o venenosos que son confundidos con hongos comestibles. Un caso muy frecuente es la causada por *Amanita phalloides*.

- **Micosis superficial:**

Infección provocada por la invasión de tejidos superficiales (piel, mucosas y faneras), como las dermatofitosis.

- **Micosis subcutáneas:**

Infección por invasión de tejido subcutáneo, las cuales suelen ser muy agresivas. Ejemplos de ella son esporotricosis, cromoblastomicosis y eumicetoma.

- **Micosis sistémica:**

Difusión hematógena de hongos (fungemia) e invasión a varios órganos. Entre ellas las más comunes son histoplasmosis, paracoccidiomicosis y coccidiomicosis.

- **Micosis oportunista:**

Infecciones que se intensifican en pacientes inmunodeprimidos Tal es el caso de candidiasis, criptococosis, mucormicosis y aspergilosis, entre otras.

MUCORMICOSIS

La mucormicosis, es una infección fúngica que afecta ocasionalmente al hombre. Es causada por un grupo de hongos pertenecientes al orden de los *Mucorales*, dentro de él a la familia *Mucoraceae*, siendo los géneros más frecuentes, *Mucor*, *Rhizopus* y *Absidia*. Son hongos ambientales, de crecimiento rápido sobre sustratos orgánicos, como suelo, hojas, madera, alimentos, entre otros. Su reproducción puede ser asexual, por medio de esporos o esporangiosporos o sexual, proceso en el cual por fusión de gametos masculinos y femeninos se forma un huevo o cigoto (del griego ζυγωτός zygōtós unido), el cual da el nombre a la división *Zygomycota*, en la cual hasta hace unos años se los ubicaba. Estudios filogenéticos los sitúan hoy en la división *Mucormycota*.

Los propágulos o esporangiosporos o simplemente esporos, de estos hongos oportunistas, presentes en el ambiente, son transportados por el aire ingresando por vía inhalatoria, depositándose en la mucosa respiratoria o de los senos paranasales. Otra manera de ingresar al organismo es a través

de soluciones de continuidad de las barreras mecánicas, como ocurre en quemaduras o heridas en la piel.

En un huésped inmunocompetente, los propágulos serán fagocitados por los macrófagos, en tanto en inmunocomprometidos, como pacientes neutropénicos, diabéticos no controlados, leucémicos, con Síndrome de Deficiencia Adquirida (SIDA), con COVID-19 provocada por el virus SARS-CoV-2, con tratamientos a base de esteroides, entre otras afecciones, al no responder su aparato inmunológico invaden las mucosas, penetran los tejidos, alteran las paredes vasculares, provocan trombosis y embolias seguidas de diseminación sanguínea, causando isquemia, infarto y necrosis tisular. Esta micosis, se presenta bajo diferentes formas clínicas [4].

• **Rino-sinuso-órbita o rinocerebral**

Se asocia a cuadros de diabetes descompensados. Su vía de ingreso es la inhalatoria, iniciándose la enfermedad en la mucosa nasal o bucal, con dolor, congestión y secreción nasal serosanguinolenta. Luego puede aparecer una úlcera necrótica en el paladar duro o en la mucosa del tabique nasal, pudiendo verse afectados los senos paranasales. Cuando el proceso abarca la órbita ocular aparece edema e induración periorbitarios, ptosis palpebral o párpado caído,

proptosis, viéndose afectados los movimientos oculares, llegando, incluso, a la pérdida de la visión. (Figura 1).

En los casos más graves, la



Figura 1. Mucormicosis rino-cerebral [9].

infección alcanza el lóbulo frontal cerebral, produciendo necrosis y abscesos, los cuales generalmente llevan a la muerte del paciente. La extensión de la enfermedad puede evidenciarse por Tomografía Axial Computada (TAC), Resonancia Magnética Nuclear (RMN) o Radiología.

• **Pulmonar**

Aparece en pacientes con enfermedades hematológicas como neutropenia y leucemia, su vía de entrada es la inhalatoria, siendo de difícil diagnóstico por carecer de signos patognómicos.

• **Cutánea**

Se presentan cuando existen lesiones de la piel como quemaduras o heridas, las cuales se ven contaminadas. El diagnóstico es por biopsia y estudios anatomopatológicos de las mismas.

• **Diseminada**

Su origen es alguno de los cuadros anteriores, los cuales al

agravarse y no ser contenidos se diseminan por vía hemática llegando a otros órganos; en algunos casos da un cuadro gastrointestinal, el cual se agrava

si el paciente presenta severa desnutrición u otra patología como puede ser fiebre tifoidea, amebiasis, entre otras.

El diagnóstico de esta patología [2, 3, 8], se basa en datos epidemiológicos que revelen la existencia de causas predisponentes, en el cuadro clínico y en el estudio micológico de material proveniente de lesiones, como pueden ser escaras del paladar duro, de piel, secreciones nasales, esputo y material de mucosas. Con ellos se realiza una observación microscópica en las cuales se busca hallar filamentos continuos de 10 a 30 μm de ancho de bordes paralelos, regulares, con ramificaciones en ángulo recto (90°). Con este material se realizan cultivos en medios habituales como puede ser Agar Saboureaud Glucosado, Agar Dextrosa-Papa (PDA), entre otros, incubados a 28 y 37°C . Después de 3 a 4 días aparecerá un crecimiento vegetativo, denominado micelio, a simple vista su aspecto es veloso,

algodonoso, inicialmente blanco, pudiendo tomar un color verdoso, el cual se va oscureciendo con los días (Figura 2). No son hongos dimórficos, por lo cual presentan el mismo crecimiento a ambas temperaturas y no producen pigmentos que difundan al medio.

La observación microscópica de los cultivos permitirá observar hifas (del griego ὑφή, huphé, red), filamentos fúngicos, originados a partir de las esporas, constituyentes del micelio fúngico, que en el caso de los mucorales, se denomina cenocítico, por estar formado por hifas hialinas, continuas es decir sin tabiques, con esporangios con su columela y en su interior las esporas o esporangiosporas, en tanto los rizoides pueden o no estar presentes. Estas características morfológicas permiten diferenciar los tres géneros más habituales de esta patología (Ver Tabla 1 y Figuras 3, 4, 5 y 6).

A través de estos estudios micológicos es posible diferenciar las Mucormicosis de otras infecciones fúngicas, entre ellas *Aspergillus* spp, el cual puede dar cuadros pulmonares o de especies fúngicas que causan micosis subcutáneas como las provocadas por *Sporothrix schenckii* o de candidiasis sistémicas provocadas por un grupo de hongos levaduriformes, perteneciente al género *Candida*, en especial *Candida auris*, con un

crecimiento similar al de las bacterias. Micosis, todas ellas, reportadas en pacientes con COVID-19 [14].

Su tratamiento [8] consiste en el control de las causas predisponentes, remoción de tejidos dañados, y suministro de

utilidad, permiten evaluar la respuesta a los tratamientos instaurados.

SITUACIÓN EN LA PANDEMIA COVID-19

Las micosis, debidas a hongos oportunistas, emergen en enfermedades que debilitan el

Tabla 1. Aspectos micromorfológicos de los agentes causales de la mucormicosis.

Estructura	Cualidades	<i>Rhizopus</i> sp	<i>Absidia</i> sp	<i>Mucor</i> sp
Esporangio	Forma	Esférico	Piriforme	Esférico
	Tamaño (µm)	90 -120	20 - 35	40 - 100
Esporangiosporos	Forma	Redondos	Globosos u ovals	Ovals
	Tamaño (µm)	4 – 5	3 - 4	4 -7
Esporangióforo	Largo (µm)	500	400	Variable
	Ramificación	No	Si	Variable
	Color	Pardo	Hialino	Hialino
Columela	Forma	Redonda	Ovoide	Variable
	Tamaño (µm)	70	15 - 25	Hasta 35
Rizoides	Presencia	Si, junto a los esporangióforos	Si, en los estolones	No posee

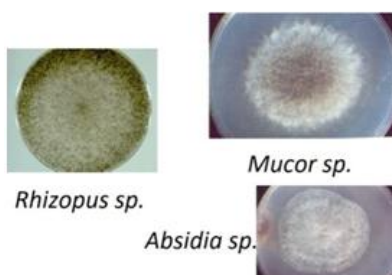


Figura 2. Cultivo de Mucorales en Agar papa [10].

Anfotericina B, un antifúngico extraído de la bacteria filamentos *Streptomyces nodosus*. El monitoreo permanente de los pacientes a través de estudios de laboratorio clínico, cultivos fúngicos y diagnóstico por imágenes, en caso de ser de

sistema inmune de las personas; años atrás, en la década de 1980 ocurrió con el Síndrome de Deficiencia Adquirida (SIDA), una pandemia provocada por el Virus de la Inmunodeficiencia Humana (HIV), en la cual numerosos pacientes se vieron afectados por una neumonía causada por *Pneumocystis jirovecii*, por aquellos años denominado *Pneumocystis carinii*, clasificado actualmente como un hongo perteneciente a la división Ascomycotina. En ellos además se manifestaron otras micosis, entre ellas la criptosporidiosis, ocasionada por *Cryptococcus neoformas*, un hongo levaduriforme capsulado [1].

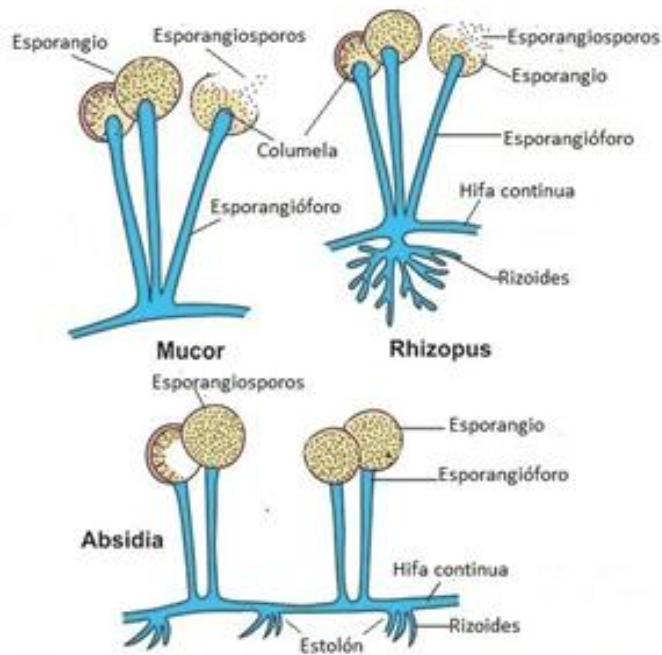


Figura 3. Características microscópicas de Mucorales.

Durante la pandemia de COVID-19 que estamos transitando, se han informado en la India, un país del Asia del Sur, numerosos casos de mucormicosis, llamada la “enfermedad del hongo negro”, por el cuadro necrotizante que dan en tejidos, la mayoría de los cuales se relacionan con el tratamiento inmunosupresor en estos pacientes, junto a otros cuadros que se han presentado de aspergilosis pulmonar, esporotricosis subcutáneas y candidiasis diseminadas [4].

REFERENCIAS

[1] A. J. Bava. Introducción a la micología médica, Acta Bioquímica Clínica Latinoamericana Suplemento 4, Talleres Gráficos de la Federación Bioquímica de la Provincia de Buenos Aires, La Plata, 2002.

[2] R. Koneman, G. Roberts. Micología práctica de laboratorio, 3a. Edición, Editorial Médica Panamericana, Buenos Aires, 1994.

[3] R. Negróni, L. Guelfand. Manual de procedimientos para laboratorios de micología médica, Acta Bioquímica Clínica Latinoamericana Suplemento 1. Talleres Gráficos de la Federación Bioquímica de la Provincia de Buenos Aires, 1999.

[4] J. W. Rippon, Medical mycology, the pathogenic fungi and the pathogenic actinomycetes, 3a Edición, W B Saunders, Philadelphia, 1998.

[5] M. A. Ruggiero, D. P. Gordon, T. M. Orrell, N. Bailly, T. Bourgoïn, R. C. Brusca, T. Cavalier Smith, M. D. Guiry y

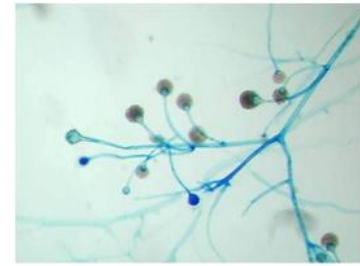


Figura 4. *Apsidia* sp. Observación microscópica de un cultivo. Coloración Azul de Lacto-fenol, 40x [11].



Figura 5. *Mucor* sp. Observación microscópica de un cultivo. Coloración Azul de Lacto-fenol, 40x [12].



Figura 6. *Rhizopus* sp. Observación microscópica de un cultivo. Coloración Azul de Lacto-fenol, 40x [13].

P.M.Kirk, PLOS ONE, 2015.

Recuperado de

https://www.researchgate.net/publication/275646505_A_Higher_Level_Classification_of_All_Living_Organisms

[6] N. J. Turland, J. H. Wiersema, F. R. Barrie, W. Greute, D. L.

Hawksworth, P. S. Herendeen, S. Knapp, W. H. Kusber, D. Z. Li, K. Marhold, T. W. May, TW, J. McNeill, A. M. Monro, J. Prado, M. J. Price & G. F. Smith, GF (eds.), 2018, Código internacional de nomenclatura para algas, hongos y plantas (Shenzhen Code) adoptado por el XIX Congreso Botánico Internacional de Shenzhen, China, julio de 2017. *Regnum Vegetabile* 159. Glashütten: Koeltz Botanical Books. DOI Recuperado de <https://doi.org/10.12705/Code.2018>

[7] R. H. Whittaker, *Science*, 163, (1969), 150-160. Recuperado de <http://shipseducation.net/db/whittaker.pdf>

[8] <https://www.cdc.gov/fungal/diseases/mucormycosis/index.html>

[9] <https://www.revistanefrologia.com/es-tratamiento-exitoso-mucormycosis-rino-orbito->

cerebral-un-articulo-X0211699514053567

[10] <https://slideplayer.es/slide/2744663/>

[11] <https://atlasdemicologia.wordpress.com/2016/03/13/absidia-sp/>

[12] <https://atlasdemicologia.wordpress.com/2016/03/17/mucor-spp/>

[13] <https://atlasdemicologia.wordpress.com/2016/03/18/rhizopus-spp/>

[14] <https://www.bbc.com/mundo/noticias-57058356>

Lecturas sugeridas:

Micetismos

1) A. B. Pomilio, S. M. Battista, A. Alonso. Micetismos. Parte 1: Síndromes con período de latencia tardía. Mushroom poisonings. Part 1: late-onset syn-

dromes. *Acta Bioquím. Clín. Latinoam.* 2018; 52 (4): 459-487.

2) A. B. Pomilio, S. M. Battista, A. Alonso. Micetismos. Parte 2: Síndromes con sintomatología demorada y latencia muy larga. Mushroom poisonings. Part 2: Delayed-onset syndromes with very long latency time. *Acta Bioquím. Clín. Latinoam.* 2019; 53 (1): 79-107.

3) A. B. Pomilio, S. M. Battista, A. Alonso. Micetismos. Parte 3: Síndromes tempranos gastrointestinales. Mushroom poisonings. Part 3: early-onset gastrointestinal syndromes. *Acta Bioquím. Clín. Latinoam.* 2019; 53 (2): 217-244.

4) A. B. Pomilio, S. M. Battista, A. Alonso. Micetismos. Parte 4: Síndromes tempranos con síntomas complejos. Mushroom poisonings. Part 4: early-onset syndromes with complex symptoms. *Acta Bioquím. Clín. Latinoam.* 2019; 53 (3): 361-396.

Cuando las Moléculas Termolábiles Vuelan: Espectrometría de Masa MALDI y sus Posibles Aplicaciones Actuales.

Gabriela Petroselli y Rosa Erra-Balsells

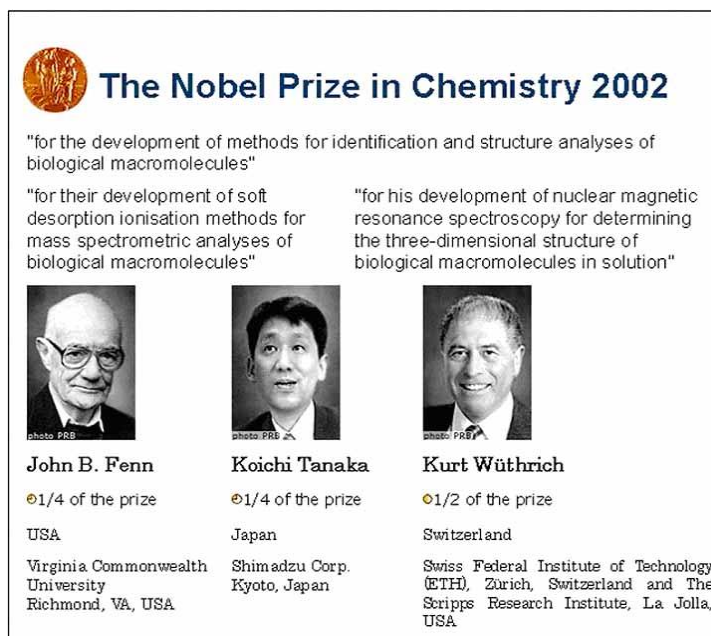
INTRODUCCIÓN

El Premio Nobel de Química 2002 fue compartido por tres investigadores, dos especialistas en Espectrometría de Masa (MS) y uno en Resonancia Magnética Nuclear (NMR) dado que gracias a sus contribuciones estas técnicas pueden usarse para el análisis de macromoléculas sintéticas y biológicas, y en especial para proteínas (Fig. 1). Básicamente, en un espectrómetro de masa se convierte a las moléculas (analito) en iones gaseosos y éstos son diferenciados por el analizador según su relación m/z (m , masa molar o peso molecular del ion; z , carga

CIHIDECAR-CONICET y Departamento de Química Orgánica, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, UBA. Pabellón II, 3er P. Ciudad Universitaria, 1428 Buenos Aires, Argentina.

Email: Rosa ERRA-BALSELLS

errag@agr.ehime-u.ac.jp



The Nobel Prize in Chemistry 2002

"for the development of methods for identification and structure analyses of biological macromolecules"

"for their development of soft desorption ionisation methods for mass spectrometric analyses of biological macromolecules"

"for his development of nuclear magnetic resonance spectroscopy for determining the three-dimensional structure of biological macromolecules in solution"




		
John B. Fenn	Koichi Tanaka	Kurt Wüthrich
⊙1/4 of the prize	⊙1/4 of the prize	⊙1/2 of the prize
USA	Japan	Switzerland
Virginia Commonwealth University Richmond, VA, USA	Shimadzu Corp. Kyoto, Japan	Swiss Federal Institute of Technology (ETH), Zurich, Switzerland and The Scripps Research Institute, La Jolla, USA

Figura 1. Premio Nobel de Química 2002 (www.nobel.se/chemistry/laureates/2002).

del ion), obteniéndose así información de su peso molecular (Fig. 2) [1].

¿ Por qué es importante el análisis de proteínas por Espectrometría de Masa? Para entender el mecanismo por el cual actúa una

proteína *in vivo* se requiere una completa caracterización de la misma en lo que se refiere a estructura primaria (tipo de aminoácidos y su secuencia de unión), peso molecular y estructura tridimensional o forma de la proteína. La proteína desde su síntesis y durante su traslado al

punto de acción puede sufrir cambios estructurales (modificaciones post-traduccionales) los que modifican su estructura primaria y su peso molecular. La proteína puede ejercer su función

muy laborioso y requiere una considerable cantidad de muestra y tiempo. A mediados de la década del 90, el reemplazo de estas técnicas por la espectrometría de masa ha dado

nación de pesos moleculares y estructura molecular por espectrometría de masa.

ESPECTROMETRÍA DE MASA

Todos los espectrómetros de masa constan de tres partes esenciales. La primera es la "fuente", en la que se generan los iones gaseosos del analito (volatilización/ionización). La segunda es el "analyzer de masas" ya que diferencia a los iones gaseosos según su relación m/z . La tercera es el "detector" el cual recibe a los iones diferenciados por el analyzer y los contabiliza (Fig. 2).

Un cuarto elemento fundamental del equipo son las bombas de vacío, que regulan los valores absolutos y el gradiente de vacío entre las tres partes mencionadas. A todo esto se agregan computadoras de alta capacidad operativa para la realización del experimento en sí mismo, almacenamiento y manejo de datos. Los avances tecno-lógicos y la investigación básica han contribuido al desarrollo en forma independiente de las tres partes mencionadas. Existen en la actualidad diversos tipos de "fuentes" basadas en fenómenos físicos y físico-químicos de volatilización y ionización completamente diferentes. Existen también diferentes tipos de analizadores. De todas sus combinaciones lógicas posibles surge la variedad de espectrómetros de

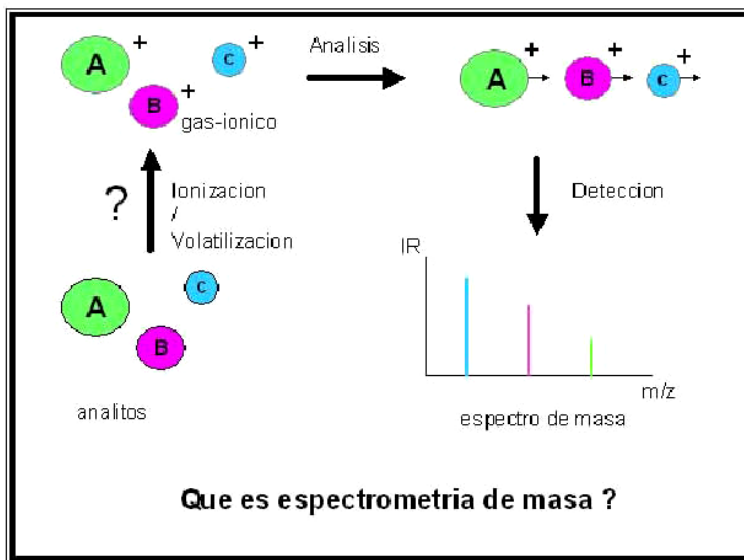


Figura 2. Procesos que involucra la espectrometría de masa.

específica no como una unidad monomérica tal cual fue sintetizada, sino como agregados no covalentes del tipo dímero, trímero, tetrámero, etc. Para monitorear todas estas posibilidades estructurales se requieren técnicas analíticas precisas, de alta sensibilidad y en lo posible rápidas.

Hasta la década del 90, la determinación del peso molecular y la estructura primaria de las proteínas requería el uso combinado de las técnicas electroforéticas, cromatográficas y de la degradación de Edman. Este análisis en su conjunto es

lugar al área de investigación conocida como "Proteomics" [2, 3]. De la misma manera, de la aplicación de la espectrometría de masa al análisis de otras familias de macromoléculas biológicas tales como hidratos de carbono, lípidos y metabolitos secundarios han surgido nuevas áreas de investigación denominadas "Glycomics", "Lipidics" y "Metabolomics", además de las recientemente incluidas como "Petrolomics", "Foodomics" y "Cytometry Mass Spectrometry", entre otras [3, 4].

A modo de resumen, todas las "ómicas" incluyen la determi-

masa que hoy se ofrecen en el mercado.

Las preguntas naturales surgen: ¿Por qué tantas opciones? ¿Cuál de las opciones actuales es útil para bio-moléculas y moléculas termolábiles? ¿Por qué razón Koichi Tanaka compartió el Premio Nobel de Química 2002 con John B. Fenn (Fig. 1), ambos por sus contribuciones al desarrollo de espectrometrías de masa útiles para el análisis de bio-macromoléculas, macromoléculas sintéticas y moléculas termolábiles en general? En realidad, contribuyeron independientemente sólo al desarrollo de dos nuevas “fuentes” de ionización (MALDI y ESI). ¿Es eso tan importante? ¿Qué es MALDI? ¿Qué es ESI?

UN POCO DE HISTORIA

El uso de la espectrometría de masa (MS) como técnica analítica creció en forma exponencial desde que J. J. Thomson describiera en 1910 experimentos en los que iones gaseosos producidos por bombardeo electrónico de especies gaseosas neutras eran separados según el valor de su relación m/z (m puede ser peso molecular o peso atómico) [4, 5]. Si bien este descubrimiento llevó a experimentos clave para la caracterización de isótopos estables (descubrimiento del deuterio, Premio Nobel de Química 1934, Harold Urey) y radionucléidos, las aplicaciones

de esta técnica se vieron limitadas a los elementos de la Tabla Periódica y compuestos (analitos) de bajo peso molecular, termoestables y fácilmente volatilizables. Durante muchos años, la generación de moléculas gaseosas iónicas pasaba por dos etapas, la primera de volatilización del analito haciendo uso de calor (Fuente continua) y la segunda de ionización del analito gaseoso neutro mediante el bombardeo del mismo con especies que lo ionizaran (Fig. 2). De esta manera a la técnica de ionización por bombardeo con una haz de electrones acelerados (ionización por impacto de electrones, EI) [3, 6, 7] siguió el bombardeo con un haz de moléculas gaseosas ionizantes (ionización química, CI) [3, 6, 7] y también la exposición del analito gaseoso a la acción de un fuerte campo eléctrico que produce su ionización por efecto túnel (ionización por campo, FI) [3, 6, 7]. Pese a la limitación de que la técnica era útil solo para analitos termoestables, la espectrometría de masa progresó constantemente desde su invención a más de ciento diez años atrás. El fuerte desarrollo se debió tanto a los avances tecnológicos por un lado (mejoras instrumentales: desarrollo de nuevos analizadores de iones gaseosos; desarrollo de nuevos detectores; aumento de la sensibilidad y rapidez de los experimentos;

procesamiento de datos; banco de datos; etc) como al avance en el conocimiento del comportamiento de los iones moleculares gaseosos (cationes, aniones, aniones radicales; su estabilidad y sus formas de descomposición o fragmentación [6, 7, 8, 9]). Como ya se señaló, todos los espectrómetros de masa tienen en común que miden la relación m/z de iones gaseosos haciendo uso de campos eléctricos y/o magnéticos (Fig. 2). La exacta medida de este valor para las moléculas gaseosas ionizadas del analito (ion molecular) dará información sobre su masa molar (peso molecular). Si además se induce la fragmentación del ion molecular por excitación vibracional, cada fragmento iónico será detectado con su propio valor de m/z . El conjunto de fragmentos formados es característico de cada analito y depende de su estructura química (“huella dactilar”). Por lo tanto del análisis de los fragmentos obtenidos (experimento MS/MS o espectrometría de masa “tándem”) se obtiene información sobre la estructura química del analito en cuestión [6,7,8,9]. El uso de la espectrometría de masa (MS) apunta siempre a los dos aspectos mencionados: (i) determinación de las masas molares o atómicas (pesos moleculares o atómicos) y (ii) determinación de estructura

química de moléculas (Fig. 3). La imposibilidad de aplicación de la técnica de analitos termolábiles limitó durante muchos años el posible uso de la misma en el campo de las biomoléculas termolábiles y termolábiles en general. Se requería, previo al análisis, la preparación de derivados termoestables. La engorrosa preparación de los mismos (por ejemplo, en el campo de los hidratos de carbono se preparaban derivados permetilados o peracetilados), hacía que muy pocos se vieran atraídos por el uso de esta técnica. Además, se requerían cantidades significativas de muestra para su manipuleo químico previo al análisis por MS [3, 6, 7]. En la década del 70 se describen los primeros experimentos exitosos donde sin uso de calor en forma explícita, moléculas termolábiles eran transformadas sin descomposición alguna y en un único paso a iones gaseosos. Estas

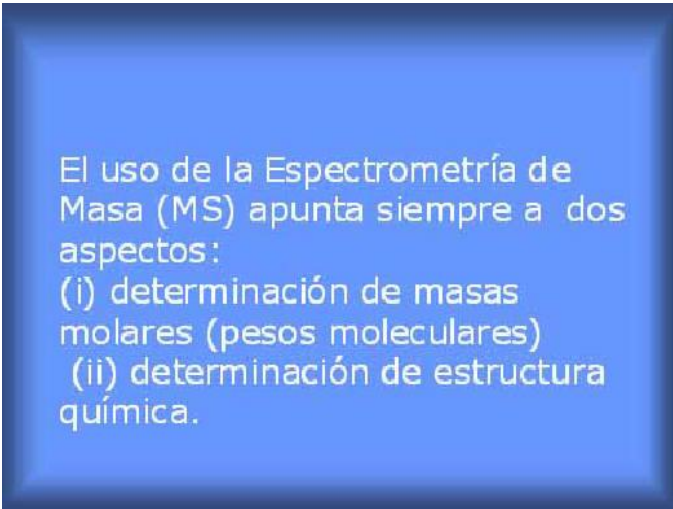
técnicas de volatilización/ionización se denominan “técnicas de desorción” (Fig. 4). En estos casos al analito no volátil convenientemente depositado sobre una superficie metálica (electrodo portamuestra) dentro de la cámara de ionización en alto vacío, es bombardeado con un haz de átomos neutros acelerados (He; Xe; “*fast atom bombardment*”, FAB) [3, 6, 7], o con un haz de átomos iónicos acelerados (He+; Xe+; “*secondary ion MS*”, SIMS ó LSIMS) [3, 6, 7], o es expuesto a la acción de un fuerte campo eléctrico que induce su volatilización/ionización por efecto túnel (“*field desorption*”, FD) [3, 6, 7], o es expuesto a la acción de un plasma (“*plasma desorption*”, PD) [3, 6, 7] o a la acción de un láser (“*laser desorption/ionization*”, LD [1, 3, 6, 7]. Si bien estos métodos de ionización ampliaron el uso de la técnica a moléculas termolábiles y a macromoléculas ya

sea sintéticas o biomacromoléculas, prácticamente su límite de aplicación es para analitos de peso molecular por debajo de 900-1000 Da. En ese momento, una de las revistas más importantes de espectrometría de masa todavía se llamaba *J. Org. Mass Spectrom.*, hoy *J. Mass Spectrom.* (Wiley). Los principales usuarios de la técnica seguían siendo los químicos orgánicos que trabajaban con analitos termoestables de peso molecular bajo (< 800 Da).

El progreso había sido notable, se medían pesos moleculares cercanos a 1 kDa con alta resolución con aproximación en el cuarto decimal pero... “el análisis de las grandes macromoléculas como moléculas intactas gaseosas ionizadas seguía siendo un deseo, un sueño”.

EL SUEÑO SE HIZO REALIDAD...”LAS MACROMOLÉCULAS TERMOLÁBILES VUELAN”

En particular los intentos de usar un láser ultravioleta pulsado como fuente de energía para provocar desorción se remonta a la década del 60. Se lo usó primeramente para realizar determinaciones de composición elemental y luego para la desorción de biomoléculas pequeñas, siendo el mayor problema experimental que el analito debía absorber los fotones emitidos por la fuente láser ultravioleta, generando como especie primaria un real estado electrónico excitado. A partir del



El uso de la Espectrometría de Masa (MS) apunta siempre a dos aspectos:
 (i) determinación de masas molares (pesos moleculares)
 (ii) determinación de estructura química.

Figura 3. Utilidad de la espectrometría de masa.

mismo muchos analitos reaccionan fotoquímicamente o en otros fotoquímicamente estables el exceso de energía vibracional residual en la molécula desorbida induce su fragmentación inmediata.

Cualquiera de las dos posibilidades enunciadas, en las que se usaba el láser Nd:YAG (λ_{em} 266 nm), imposibilitan el análisis del ion molecular gaseoso intacto como tal, a fin de obtener información del valor de su m/z y peso molecular [1, 3, 6, 7]. La idea de usar una fuente láser pulsada ya sea en la región UV-visible o en la región infrarroja (IR) para la desorción ya existía. Todos los laboratorios se afanaban en ese momento en realizar experimentos con el segundo tipo de fuente láser, ya que los órdenes de energía que se requieren para “deformar” la molécula y así “aislarla” de su entorno en el medio sólido y permitir su “desorción” los provee un láser IR. Sin embargo, el “hecho mágico” producto quizás en parte de la casualidad se comunica en un congreso en el año 1987 [10]. El Ing. Koichi Tanaka (Premio Nobel de Química 2002), quien realizó el experimento con emisión láser de 337 nm (láser de N₂), en su exposición con motivo de la recepción del galardón [11], aclara que él no es químico y que su falta de prejuicio sobre la “imposibilidad práctica” de

volatilizar macromoléculas termolábiles por calentamiento más ciertos errores al preparar las muestras lo llevó a usar como analitos comerciales polímeros (polietilenglicoles) y proteínas a las que mezcló con polvo metálico de una granulación especial (“*ultra fine metal powder*” (patente japonesa) UFMP; diámetro, decena de nm; de aplicación en metalurgia por la eficiente transmisión de calor [11]) al que hoy llamaríamos

modo que fuera mucho mayor que la de su descomposición térmica [11]. Al transferir la suspensión constituida por macromolécula + polvo metálico en acetona sobre la superficie del portamuestras introducido en la cámara de ionización en alto vacío, la acetona se evaporaba ...y en realidad generaba sobre el portamuestras una muestra sólida heterogénea constituida por polvo metálico “embebiendo” al analito en estado sólido (como pasas en

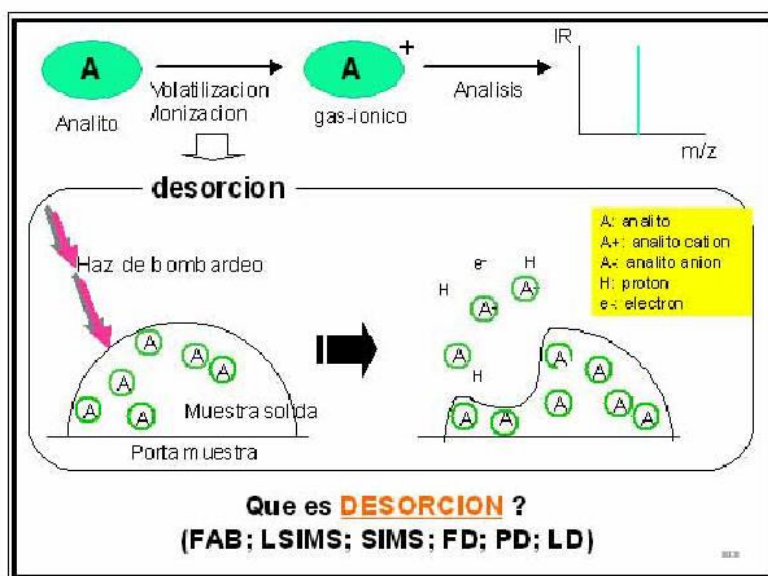


Figura 4. Volatilización/ionización de analitos por desorción.

“nanomaterial”, usando propilenglicol en lugar de acetona como medio fluido (solvente) para generar una mezcla sólida de analito+polvo metálico. La idea de usar UFMP mezclado con el analito a ser bombardeado por el láser, era aprovechar todo el “calor rápido” generado por el láser para aumentar la velocidad de evaporación del analito de

un budín). Cuando por error usó propilenglicol como solvente, en lugar de descartar la preparación pastosa obtenida sobre el portamuestras, lo introdujo en la cámara de ionización, en alto vacío, pensando que el propilenglicol se evaporaría durante el experimento. Esta suspensión pastosa con distribución más homogénea del analito y del polvo

metálico al ser bombardeada por el láser de nitrógeno (λ_{em} 337 nm) produjo el resultado “mágico”, deseado y largamente esperado, de generar iones moleculares intactos gaseosos monocargados ($z=1$) del analito macromolecular en cuestión (proteínas y polímeros sintéticos) [12]. En las presentaciones en congresos y publicaciones del período 1987-1988 [10-12], Tanaka mostró que era posible con un láser de N_2 generar los iones moleculares

año (1988, [13]), Karas y Hillenkamp describen la detección del ion gaseoso intacto de proteínas. A diferencia del experimento de Tanaka, ellos depositan sobre el portamuestras una mezcla sólida donde la proteína (analito) sigue siendo el componente minoritario y está disperso o “embebido” como “pasas en el budín” en el componente mayoritario que denominan “matriz”. Ahora la matriz es simplemente un “pequeña” molécula orgánica

“riales” (del inglés, “*soft laser desorption*”, SLD) ha encontrado solo recientemente una mayor aplicación analítica [1, 3, 5, 7]. El uso de las matrices orgánicas fotosensibles ha dado lugar al desarrollo del método de volatilización/ionización suave (“*soft ionization*”), que hoy se conoce como MALDI-MS. Sin embargo, se considera que SLD es la idea madre en la que se basa MALDI y otros métodos de desorción/ionización actualmente en desarrollo tales como SELDI (*Surface Enhanced Laser Desorption/Ionization*), DIOS (*Direct Ionisation on Silicon*), uso de nanomateriales diversos y de líquidos iónicos como fotosensibilizadores o matrices MALDI [1].

ALGUNAS CARACTERÍSTICAS DE LA ESPECTROMETRÍA DE MASA-MALDI

Desde su implementación práctica a fines de la década del 80, el método de ionización MALDI se ha usado con éxito para el análisis por espectrometría de masa de bio-macromoléculas (ácidos nucleicos, nucleótidos, nucleósidos, proteínas, péptidos, lípidos, hidratos de carbono, compuestos glicoconjugados, etc), macromoléculas y polímeros sintéticos y compuestos termolábiles en general. Ha demostrado reunir una serie de ventajas, siendo una de las más importantes la simplicidad espectral, la obtención de especies monocargadas ($z=1$) y el rango de valores de m/z en que es aplicable. Así, para macromolé-

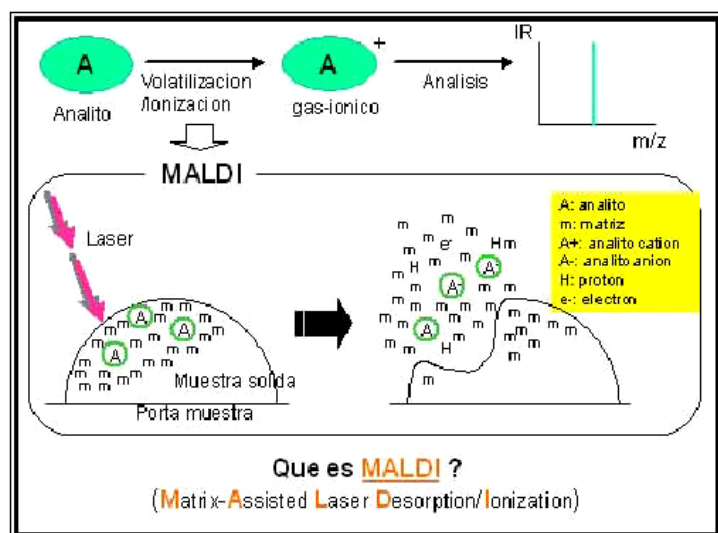


Figura 5. Volatilización/ionización de analitos por MALDI.

intactos de quimotripsinógeno (25.717 Da), carboxipeptidasa-A (34.472 Da), citocromo c (12.384 Da) y polietilenglicol (PEG 2000 Da). El había logrado el resultado deseado usando, entre otras cosas, un láser ultravioleta de baja energía (Láser de N_2 , λ_{em} 337 nm), cuya radiación no era absorbida ni por las proteínas ni por el PEG, y esto era completamente inesperado. Simultáneamente en el mismo

fotosensible ya que debe absorber la radiación provista por el Láser (337 nm), radiación a la cual la proteína es transparente (Fig. 5). Este es el principio básico y la forma de preparación de la muestra más difundido en el que se rige actualmente la preparación de muestras para MALDI (del inglés, “*matrix assisted laser desorption/ionization*”). Por el contrario, el uso de matrices metálicas o “nanomate-

culas con masas moleculares de hasta 500 kDa controlando las condiciones experimentales (“*potencia láser umbral*”) se producen casi ex-clusivamente los iones moleculares monocargados ($z=1$) estables, sin inducirse su fragmentación (cada señal observada corresponde en principio al ion molecular de una especie química presente en la muestra bajo análisis). Por lo tanto, es posible analizar tanto compuestos puros como mezclas de compuestos y cuantificar (relativamente) las segundas. En esta propiedad del MALDI se basa no sólo el uso clásico como una espectrometría de masa para determinar pesos moleculares de especies químicas puras sino además su uso para la caracterización o el “mapeo de mezclas” como tales (perfiles de mezclas ó huellas dactilares de mezclas), por ej. “mapeo de proteínas” o “mapeo de polipéptidos” o “mapeo de lípidos” muy usados para la caracterización de bio-sistemas (por ej., control de adulteración de muzzarella con leche de cabra y/o de vaca [14]) así como para la obtención de “imágenes de tejidos intactos” en el diagnóstico de enfermedades [15], o simplemente caracterizar la mezcla de péptidos obtenidos luego de la digestión con tripsina de un polipéptido o de una proteína, “huella peptídica ó huella dactilar de una proteína” [2] ó la tipificación de bacterias y

micro-organismos en general por su “perfil proteico” obtenido en forma directa sobre el microorganismo como tal depositado sobre el porta-muestras y cubierto con una capa de matriz MALDI [15]), o la caracterización de polímeros sintéticos [17(c)] (Fig. 6). Gracias al desarrollo tecnológico actual y al conocimiento que se tiene desde los 60 del comportamiento promedio de moléculas gaseosas iónicas, pequeñas, medianas y grandes, según sea la estructura y ubicación de sus grupos funcionales (reglas de fragmentaciones y reordenamientos de compuestos orgánicos y biomoléculas pequeñas; MS/MS [1, 3, 6, 7]) en la actualidad se

además se induce la fragmentación específica de un ion pre-seleccionado (“*precursor ion*” o “*father ion*”) y analizando las señales del espectro que origina (estudiando su esquema de fragmentación) se obtiene información de su estructura (tipo de grupos funcionales, bloques estructurales, secuencia en que están unidos, etc) (Fig. 7). O sea que dos especies con la misma fórmula molecular (igual composición centesimal) y el mismo peso molecular pueden diferenciarse perfectamente por el esquema de fragmentación de su ion molecular (ej.: los péptidos VGAHAGEYGAEALER y IGGHGAEYGAEALER tienen el mismo peso molecular (m/z) pero su esquema de fragmentación es

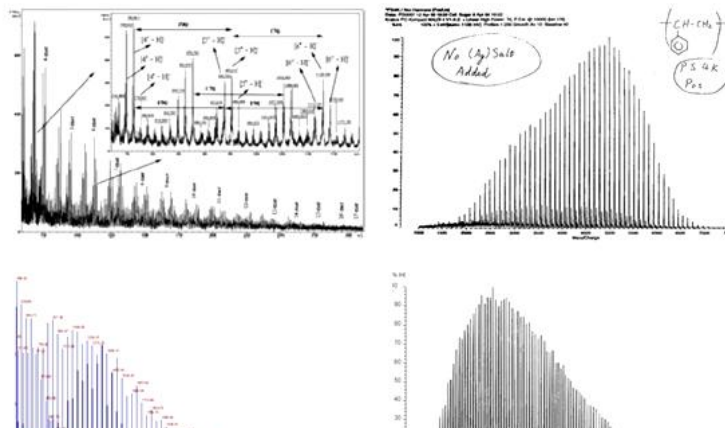


Figura 6. Perfiles obtenidos por MALDI-MS: (arriba izquierda) pectinas de cáscara de naranja. Tomada de ref. [17(d)]; (arriba derecha y abajo derecha) polímeros sintéticos: poliestireno y polimetilmetacrilato, p.m. promedio 4700 y 3000 Da respectivamente; (abajo izquierda) N-glicanos provenientes de glicoproteínas de paredes celulares de bacterias. Tomadas de ref. [17(c)].

pueden realizar experimentos donde no sólo se determinan pesos moleculares sino que

diferente [2]; lo mismo para los polisacáridos GlcFrGlcGlcFr, GlcGlcGlcFrFr y FrGlcFrGlcGlc).

Dado un método de generación de iones gaseosos, la sensibilidad, resolución y la exactitud con la que se determina el valor de m/z depende fuertemente del tipo de analizador de iones empleado. En los casos que las masas molares de los iones se determinan con aproximación en el cuarto o quinto decimal se habla de espectrometría de masa de alta resolución (del inglés “*high resolution mass spectrometry*”, HRMS). Para un valor de m/z así determinado, es posible asociar una o unas pocas combinaciones de átomos constituyentes para su fórmula molecular. Cuanto menor es el valor de m/z determinado por HRMS, menor es el número de combinaciones atómicas posibles. Si para un péptido se determina primero con alta exactitud (HRMS) su m/z y luego se realiza un experimento en el que se induce la fragmentación y para los fragmentos generados se determina con alta exactitud (HRMS) su m/z , es posible entrando a bancos de datos mediante programas especialmente desarrollados para esta familia de compuestos, obtener información sobre la posible estructura en cuanto a aminoácidos componentes y secuencia de los mismos en la cadena de los fragmentos y del péptido original. Otra variante es la tecnología denominada “*a novo*”

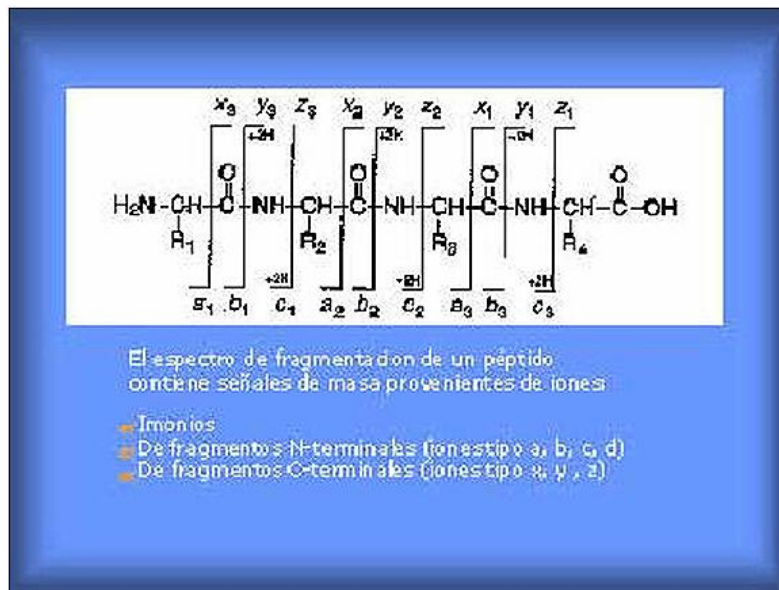


Figura 7. Fragmentaciones principales de péptidos.

por la cual el banco de datos genera (simula) los espectros con todas las fragmentaciones para cada uno de los polipéptidos posibles según el valor m/z obtenido experimentalmente para el polipéptido en estudio. Luego compara el espectro obtenido cuando se induce experimentalmente la fragmentación del polipéptido en cuestión con los obtenidos por simulación. Pese a las limitaciones prácticas y condiciones de contorno que exige un uso confiable de estos programas y banco de datos, esta posibilidad ha revolucionado la analítica de las proteínas y polipéptidos, por ello se ha producido una verdadera explosión en el uso de la espectroscopía MALDI MS. En la actualidad hablar del desarrollo de proyectos “*proteomics*”

significa contar, entre otras, con esta herramienta analítica esencial. Las mismas posibilidades de uso se dan también para las demás familias de biomacromoléculas. Sin embargo, no se cuenta aún con el apoyo de bancos de datos y programas que permitan, una vez obtenido los espectros de masa (ion molecular y luego fragmentación del mismo) una rápida y eficaz búsqueda de estructuras probables o una precisa simulación “*a novo*” de los diagramas de fragmentación teóricos (Figs. 7 y 8). Este último tipo de simulación también se ha intentado en el campo de los oligosacáridos, pero su utilidad es aun muy reducida (programa STAT) [16].

[Algunos detalles sobre equipamiento con UV-MALDI disponible](#)

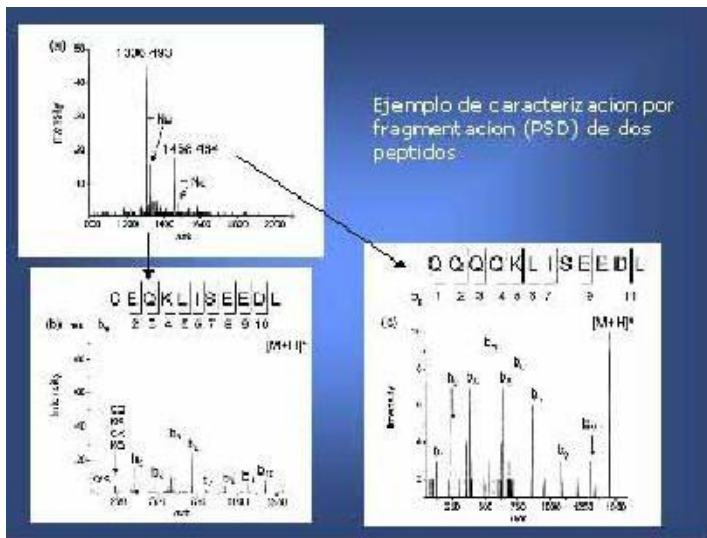


Figura 8. UV-MALDI-TOF MS análisis de un polipéptido fragmentado con tripsina en dos péptidos de peso molecular 1458, 464 y 1306, 493 (arriba izquierda), detectados como M+H⁺; huella peptídica. Espectros MS/MS de ambos péptidos (inferior izquierdo y derecho).

tiempo. En la actualidad existen equipos más sofisticados donde al método de ionización MALDI se lo combina con analizadores también únicos que permiten hacer los dos experimentos antes mencionados (sin fragmentación y con fragmentación). Estos analizadores son la denominada “trampa iónica” (IT) y el llamado “fourier transform-ion ciclotron resonance” (FT-ICR) y los equipos serían MALDI-IT y MALDI-FT-ICR [1, 3, 6, 7]. La resolución, exactitud y sensibilidad son muy altas. También existen los equipos que tienen en un arreglo “Tandem” dos analizadores de iones y los experimentos

Si el espectrómetro de masa tiene solamente como analizador un “tiempo-de-vuelo” (TOF) se efectúan los experimentos primero en modo “lineal” y si es posible también “reflectrón” (mayor exactitud en m/z a expensas de menor sensibilidad en el segundo) para determinar el peso molecular (condiciones experimentales de no fragmentación) y luego, mediante un modo de operación que se denomina MS/MS se induce la fragmentación del ion precursor seleccionado. Este sería un equipo MALDI-TOF/TOF MS preparado para trabajar en el modo MS/MS [1, 6, 7]. No todos los equipos MALDI-TOF MS tienen esta opción. La sensibilidad, resolución y exactitud varían según las marcas y los modelos y las opciones han ido cambiando en el



Figura 9. Equipos MALDI-MS: (arriba)(izquierda) MALDI-TOF Biotyper (montaje del analizador TOF vertical, altura aprox. 1 m); (derecha) MALDI-TQ/TOF (montaje del analizador TOF vertical, altura aprox. 2 m); (abajo)(izquierda) MALDI-TOF/TOF (montaje del analizador TOF/TOF horizontal, ancho a-prox. 2,30 m); (derecha) MALDI-TOF/TOF (montaje del analizador TOF /TOF vertical, altura aprox. 2,50 m). Tomadas de los catálogos correspondientes.

realizados se los denomina "espectrometría de masa tandem" (ó MS/MS o MS²). El equipo clásico es el denominado MALDI-Q-TOF que combina un cuadrupolo (Q) y el analizador TOF y también existe la combinación MALDI-IT-TOF [1. 3. 6. 7]. Todos estos equipos tienen aún en la actualidad la seria limitación de que permiten analizar iones gaseosos de $m/z < 10$ kDa unos y $m/z < 50$ kDa otros. Sólo el primer tipo de equipo mencionado, que ha aparecido en el mercado poniendo en "tandem" dos analizadores TOF (MALDI-TOF/TOF) no tendría "teóricamente" límite superior en cuanto al valor de m/z máximo que puede analizar y focalizar al detector.

Sin embargo, en la actualidad se ofrecen en el mercado varias opciones con campos de aplicación muy amplio para unos, restringido para otros, pero con muy buen mercado para todos ellos. Dentro de los equipos más simples (menor costo) podemos mencionar: (i) del tipo MALDI-TOF solo para análisis de cationes (modo iónico positivo), operan solo en modo lineal (baja a media resolución) con un TOF de menor longitud y sin posibilidad de hacer MS/MS. Son equipos de resolución baja a media y son de actual aplicación para tipificación de microorganismos en general (proveen perfiles de proteínas, huellas dactilares de microorganismos

comparables con bancos de datos para tal efecto) y los que incluyen también la opción de operación en modo negativo que permiten hacer además perfiles de lípidos de microorganismos (u otro bio-orígen) en dicho modo de operación. En el país hay varios de estos equipos en laboratorios vinculados a centros especialistas en análisis microbiológicos (a modo de ejemplo: Instituto Nacional de Enfermedades Infecciosas-ANLIS-Malbrán, MSyDS, Buenos Aires; Lab. Bacteriología Clínica, Departamento de Bioquímica Clínica, FFyB, Hospital de Clínicas "José de San Martín", UBA; Laboratorio de Microbiología, Hospital privado universitario de Córdoba, entre otros) (Fig. 9).

(ii) Los equipos de mayor porte y posibilidades experimentales, incluidas las descritas en el punto anterior, son equipos de alto costo por su mayor sofisticación tecnológica, provistos de un arreglo de analizadores tal, que permite realizar no solo experimentos en modo lineal y reflectrón (alta resolución, HRMS) en modo iónico positivo y negativo sino además experimentos MS/MS. Las posibilidades actuales en el mercado son equipos del tipo MALDI-TOF/TOF y MALDI-IT(TQ)-TOF. En el país hay solamente dos equipos del primer tipo, el primero en funcionamiento desde 2004, y uno del segundo grupo adquirido en 2016 (CEQUIBIEM, FCEN,

UBA; LANAIS-PROEM, IQUIFIB, FFyB, UBA; Lab. de EM, FByCB, UNL) (Fig. 9).

En cuanto a nuevos prototipos de reciente oferta en el mercado internacional, al listado anterior se suman equipos pensados solamente para el análisis por imagen o mapeo químico por MALDI de tejidos intactos (tanto animal como vegetal) combinando (i) microscopio para imagen óptica y fluorescente con la desorción/volatilización/ionización MALDI (Shimadzu Corp.) y (ii) equipos MALDI-2D donde se combinan en la cámara de ionización además del láser UV clásico (que inicia el proceso) un láser secundario, complementario, de tipo IR para aumentar la eficiencia de ionización con analizador de alta resolución de tipo Q-TOF o IT(TQ)-TOF o TOF/TOF (Bruker Daltonics). Este último prototipo también incluye en el equipo MALDI-MS un accesorio muy importante que le da a la EM una dimensión adicional, que es la tridimensión molecular, el que se denomina "*Ion Mobility Mass Spectrometry*" (IMMS) [1(a)]. Cabe mencionar que la IMMS es un accesorio de amplio uso en ESI-MS no así en MALDI-MS. (iii) Por otra parte, Shimadzu ha desarrollado el MALDI mini-1 que combina la cámara MALDI con el analizador "*Digital Ion Trap, DIT*" de dimensiones del orden de pocos cm, donde es posible realizar MS/MS pero en "n" secuencias sucesivas (MS).

Podemos decir que, como todas las posibilidades instrumentales que ofrece la espectrometría de masa, el área basada en MALDI sigue evolucionando con nuevas aplicaciones y nuevos desarrollos y prototipos para cumplirlas. La evolución es de difícil predicción, pero sigue siendo constante desde sus inicios, en 1990, compitiendo en general la búsqueda por un lado de mayor resolución, velocidad de obtención de resultados ("output") y por el otro la miniaturización de los equipos y la implementación del fenómeno MALDI en cámaras abiertas (sin requerimiento de alto vacío).

**SISTEMA NACIONAL DE
ESPECTROMETRÍA DE MASAS
(Espectrometría de Masas |
Argentina.gob.ar)**

El costo de estos equipos en general es alto, sobre todo de los de la segunda familia descrita anteriormente, siendo además su mantenimiento muy costoso. Por esta razón se crea el Sistema Nacional de Espectrometría de Masas (SNEM; Res. n° 197/11) el que es una iniciativa del Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación (MICYT) conjuntamente con el Consejo Interinstitucional de Ciencia y Tecnología (CICYT) enmarcada dentro del Programa de Grandes Instrumentos, Facilidades y Bases de Datos. Tiene por misión optimizar el funcionamiento y

prestación de servicios de los equipos de Espectrometría de Masas en todos sus tipos, que se encuentren instalados en instituciones del sistema académico y científico argentino. Sus objetivos son: impulsar la apertura de los servicios de los equipos de espectrometría de masas en todos sus tipos a la comunidad científica y tecnológica, al sector productivo y a la sociedad en general. Contribuir a la formación de recursos humanos capacitados a través de programas comunes. Brindar asesoramiento para incorporar nuevos equipos, accesorios, repuestos e insumos. Promover la mejora constante del funcionamiento de los equipos y servicios existentes. Potenciar prestaciones de calidad. Cuenta con un Consejo Asesor, el mismo es el órgano inmediato de representación, discusión y coordinación de las actividades, proyectos y programas del SNEM. Asesora al MICYT y al CICYT sobre políticas destinadas a la mejora permanente del funcionamiento del sistema nacional. Está integrado por representantes de los organismos del CICYT con competencia en el tema y de las instituciones prestadoras de servicios de espectrometría de masas.

**MATRICES Y ALGUNAS
LIMITACIONES
EXPERIMENTALES**

Para los experimentos MALDI MS se requiere para preparar la muestra y efectuar el análisis volúmenes de solución del fotosensibilizador (matriz) del orden del microlitro, siendo la relación de concentración entre el analito y el fotosensibilizador (matriz) del orden de 1:1000 a 1:100000 mol/mol. Independientemente de cómo se depositen las mezclas sólidas sobre el portamuestras, la matriz generará siempre las señales más intensas del espectro, especialmente en la región cercana al valor de m/z de su ion molecular. El papel de la matriz es activo durante el experimento ya que al ser la responsable de la absorción de los fotones, induce su propia volatilización/ionización (desorción) y la del (o de los) analitos (Fig. 5).

La absorción de los fotones por parte de un compuesto orgánico es condición necesaria pero no suficiente para actuar como matriz MALDI. Sin embargo, uno de los serios problemas que tiene aún esta técnica es que no se conocen bien las condiciones que deben cumplir el par analito-matriz para que la desorción/ionización del analito, como unidad monomérica inalterada, sea eficaz. O sea que debe ser eficiente además de la volatilización de las moléculas aisladas del analito, su ionización ya sea por intercambio de electrones y/o

de protones o por mantenimiento de una interacción de tipo donante-aceptor de electrones (orbitales de tipo n o de tipo p y orbitales vacantes) con unidades que tienen carga neta (ej. H^+ , Na^+ , K^+), durante la volatilización.

Pese a la difusión del uso de la espectrometría de masa MALDI y a su indiscutible utilidad en el campo de las macromoléculas biológicas y sintéticas, la búsqueda de nuevas matrices y la comprensión de los procesos involucrados en la desorción/volatilización del analito "asistida" (fotosensibilizada) por la matriz sigue siendo aún tema de investigación y estudio [17]. A modo de ejemplo en la Fig. 10 se muestran las estructuras moleculares de cuatro de las

matrices MALDI de mayor uso actualmente: ácido 4-hidroxi- α -cianocinámico (CHCA), ácido 3,5-dihidroxibenzoico (DHBA), ácido 3,5-dimetoxi-4-hidroxicinámico (SA) y 9H-pirido-[3,4-*b*]indol (nHo) [1(b)].

PERFILES o HUELLAS DACTILARES de BIOSISTEMAS

a) Caracterización de metabolitos presentes en yerba mate

La yerba mate (YM) se produce y se consume masivamente en forma de infusión en América del Sur. Comercialmente existen dos productos: YM sin palo que consisten en hojas desecadas, ligeramente tostadas y desmenuzadas de *Ilex paraguayensis* Saint Hilaire y YM con palo que consisten en una mezcla de

hojas y fragmentos de ramas secas jóvenes, pecíolos y pedúnculos. El porcentaje de hojas y palos (rotos o en polvo) determina la calidad YM. De acuerdo con el Código Alimentario Argentino el contenido de las hojas debe ser superior al 65 % para YM con palos y al 90 % para YM sin palos [18].

Las saponinas son triterpenos glicosilados con varios isómeros descriptos (Fig. 11). La isomería molecular puede ocurrir en el resto aglicona (ácido ursólico u oleanólico, hidroxilados o no), y/o en diferentes combinaciones de los isómeros de aglicona con diferentes restos de carbohidratos (glucopiranososa, ramnopiranososa, arabinopiranososa, etc.) proporcionando el mismo peso molecular.

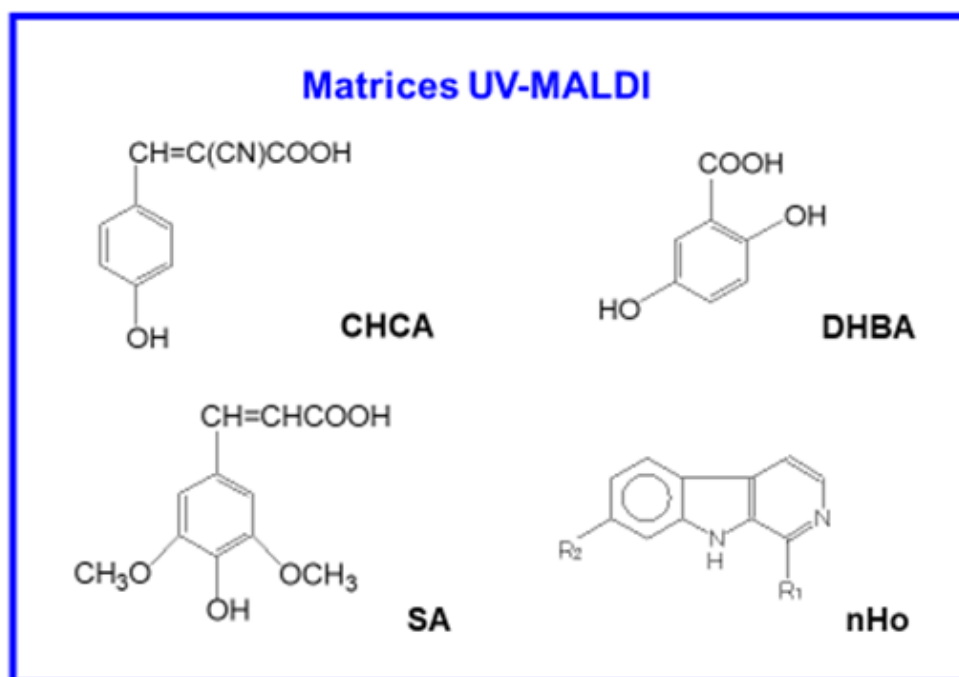


Figura 10. Estructura molecular de matrices MALDI de uso actual.

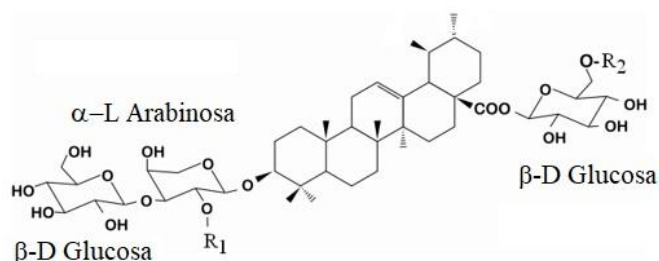
Algunos estudios indican que son las responsables del sabor amargo y de la formación de la espuma en el mate.

Como muestras de análisis se utilizó YM comercial constituida por hoja, palo y polvo. Se registraron espectros LD-MS y MALDI-MS (Bruker Ultraflex II TOF/TOF), con diferentes matrices (ácido gentísico, norharmano, etc) en modo iónico de detección

negativo y positivo. Se estudió el efecto del agregado de protones (ácido trifluoroacético) y cationes sodio (NaCl) a las muestras de los polvos y palitos y a sus infusiones. Esa estrategia permitió identificar aductos sodiados y potasiados de matesaponinas presentes en las muestras, además de diferentes compuestos en hojas y palos, tales como flavonoides y glicósidos de quercitina. La asignación de la

estructura fue realizada a partir de los pesos moleculares y de la correspondiente fragmentación observada (MALDI-MS/MS). Se prepararon infusiones simulando la manera en la que se consume usualmente utilizando agua a 4 °C (tereré) y agua a 98 °C (mate) utilizando hojas, palos o ambos [18].

Para las saponinas se obtuvieron las huellas dactilares



Matesaponina	[M+Na] ⁺	R ₁	R ₂
1	935	H	H
2	1081	Rha	H
3	1097	H	Glu
4	1243	Rha	Glu
5	1406	Rha	Glu-Glu

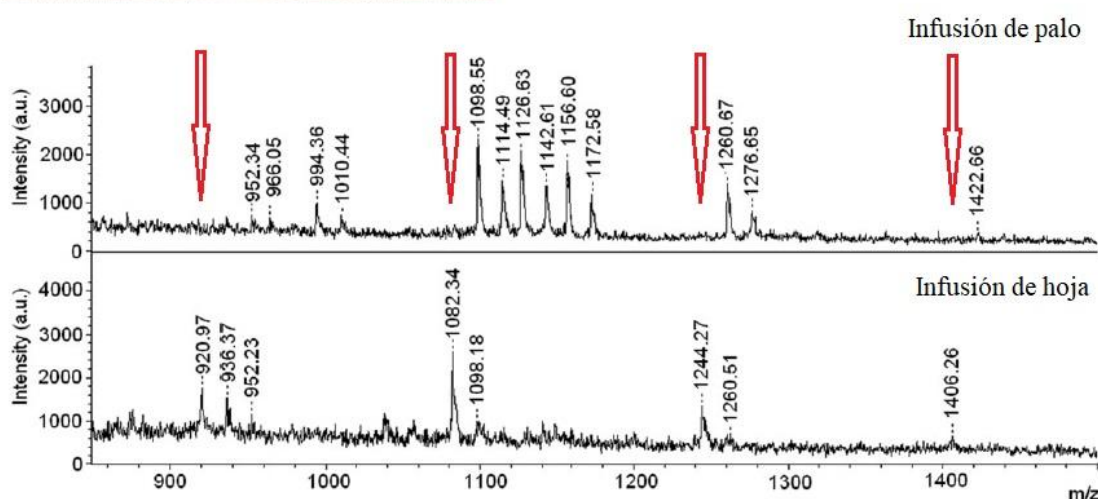


Figura 11. (izquierda arriba). Foto de mate y yerba mate. (derecha arriba) Estructura general de matesaponinas. R1 y R2 = H y/o cadenas glicosídicas (Rha: rhamnosa, Glu: glucosa). (abajo) Espectro de masa MALDI de infusión caliente o fría de yerba mate. Matriz MALDI: nHo. Tomado de ref. [18].

características y diferenciales de hoja y de palo (Fig. 11). Además, se caracterizaron isómeros de saponina no descritos anteriormente en muestras de YM. Dado que el aislamiento y la caracterización de las saponinas presentes en *Ilex paraguariensis* es un proceso bastante complejo, los resultados obtenidos indican que los perfiles MALDI-MS son una herramienta de elección para el análisis rápido del material vegetal componente de YM comercial y de las infusiones (soluciones acuosas) preparadas

con ellos.

Adicionalmente, se evaluó la aplicación directa de LD-MS y MALDI-MS sobre muestras secadas, no comerciales, de *Ilex paraguariensis* y de *Ilex dumosa*, una de las especies usadas como adulterante de la YM. Se confirmó la presencia de marcadores diferenciales en las huellas dactilares (perfiles MALDI) de saponinas de hojas y de palos, los que podrían usarse como criterios de calidad de la yerba comercial, cuya categoría y precio depende de la cantidad relativa

de hoja a palo en la mezcla. También, se demostró a través de herramientas estadísticas (PCA, del inglés *principal component analysis*) que mediante las huellas dactilares es posible diferenciar *I. paraguariensis* de *I. dumosa*.

b) Caracterización de secreciones dérmicas del sapo *Rhinella arenarum*

Los sapos, al igual que muchos anfibios, se caracterizan por la presencia de un par de macroglándulas parotoides, estratégi-

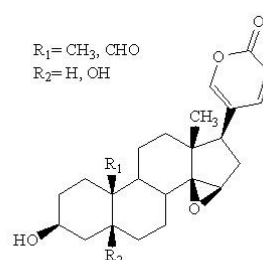
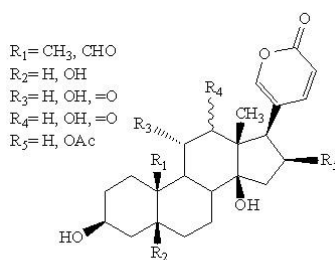
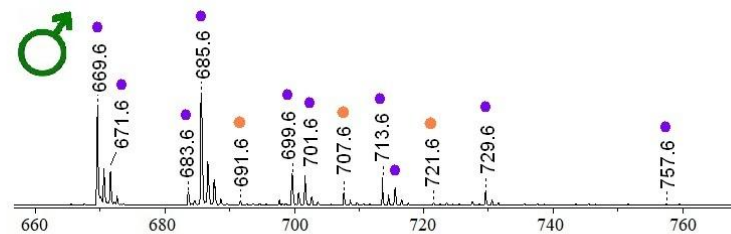
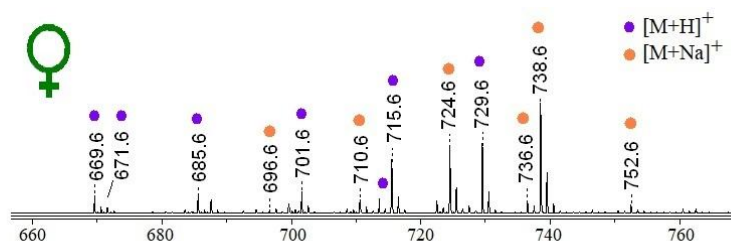


Figura 12. (arriba izquierda) Fotografías de ejemplares de *Rhinella arenarum* a) hembra, b) macho. (arriba derecha) Espectro de masa MALDI en modo positivo de secreción obtenida de especies adultas, en el mes de diciembre: a) hembra, b) macho. Solvente: MeOH. Matriz MALDI: CHCA. (abajo) Estructura química de los esteroides presentes en la secreción de glándulas parotoides de *Rhinella* sp. Tomado de ref. [19].

camente ubicadas para brindar protección por liberación de veneno en caso de ataques. Los sapos comunes pertenecen a los géneros *Rhinella* y *Rhaebo* (anteriormente, género *Bufo*). *Rhinella arenarum* es una especie nativa de América del Sur y está ampliamente distribuida en Argentina (Fig. 12). Los anuros (ranas; sapos) han desarrollado diferentes recursos para protegerse contra los depredadores e infección microbiana, que puede incluir características ecológicas, morfológicas, fisiológicas o de comportamiento. Las defensas químicas representan una estrategia común en los anfibios. La cantidad y diversidad de compuestos producidos por los anfibios en sus glándulas cutáneas es sorprendentemente alta. Esas secreciones contienen aminas biogénicas (es decir, adrenalina y noradrenalina), esteroides (bufogeninas y bufotoxinas), alcaloides (es decir, serotonina, batracotoxina y te-trodotoxina) y péptidos (incluidos oligopéptidos, polipéptidos y proteínas pequeñas). La abundancia y diversidad de componentes de cada uno de los compuestos de esta familia puede variar según la historia de vida del anfibio en cuestión, el género y la estación.

Recientemente, hemos realizado la caracterización por MALDI-MS y MALDI-MS/MS de los componentes de la secreción de *Rhinella arenarum* utilizada. Esta se usó como material crudo de partida simplemente suspendido en metanol (o acetonitrilo) [19]. Se recolectaron muestras de ejemplares juveniles y adultos (no reproductivo el primero y reproductivo el segundo) en dos épocas diferentes del año, julio (época no reproductiva) y diciembre (época reproductiva). La muestra cruda en su conjunto (suspensión completa) se colocó sobre el portamuestras MALDI para su análisis. Se evaluaron diversas matrices MALDI (ácido sinapínico, norharmano, CHCA, ácido gentísico, entre otras) para la detección de los distintos compuestos presentes en las secreciones. Así, por primera vez se utilizó material crudo para identificar perfiles de composición distintivos de bufadienólidos (huellas dactilares), para hembras y machos. El patrón de señales obtenidas en los rangos m/z 600-800 y 1200-1600 podría asignarse como la huella dactilar de ésteres de argininil bufadienólido característico de hembras y machos (Fig. 11). Se identificaron aminas, alcaloides y esteroides. Además, se detec-

taron compuestos en el rango de m/z 1300 a 1500 no descriptos previamente en secreciones de otros anfibios. Se asignaron estructuras químicas para estos compuestos (derivados de bufadienólidos) a partir de la correspondiente fragmentación observada en el modo MS/MS (MALDI-MS/MS). En los espectros correspondientes a las secreciones de hembra se observaron más señales respecto a las detectadas en las secreciones de macho. Por otro lado, no se detectaron diferencias significativas (al aplicar PCA) entre las secreciones colectadas en invierno (período no reproductivo) respecto a las del verano (período reproductivo). Esos hallazgos mostraron que las huellas dactilares de MALDI-MS de secreciones crudas pueden ser una herramienta de elección para la caracterización de las secreciones de anfibios y para descubrir nuevas biomoléculas presentes de forma natural en el material, pero que pueden perderse durante la manipulación química (extracción, separación, purificación, caracterización) de las secreciones.

c) Caracterización de melaninas de hongos

Las melaninas son pigmentos oscuros sintetizados por un amplio espectro de organismos. Estos polímeros, que son químicamente complejos, cumplen roles de protección antiestrés, son factores de virulencia en la

aislamiento CIDEFI 300 (Raza 2) a través del cultivo en un medio basal agarizado (agar-glucosa-extracto de papa, APG, control) y en la presencia de diferentes concentraciones de inhibidores específicos de melanina-(3,4-

a partir del micelio desarrollado en el medio con 50 ppm de triclicazol condujo a la identificación de flaviolina, un producto de autoxidación del 1,3,8-trihidroxinaftaleno (1,3,8-THN), un intermediario clave en la

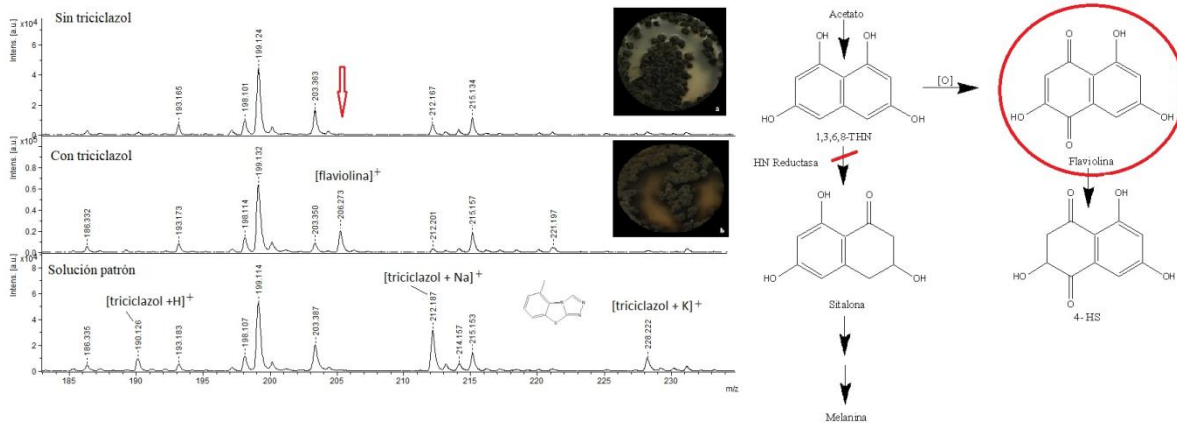


Figura 13. Izquierda Espectro de masa MALDI en modo positivo del extracto de acetato de etilo del cultivo de *F. fulva* CIDEFI 300 en medio PDA a) sin inhibidor, b) con inhibidor y c) la solución estandar de triclicazol en etanol. Inserts. Fotos de los cultivos correspondientes luego de 21 días (con y sin suplemento del inhibidor). Matriz MALDI: ácido gentísico. Derecha: Ruta sintética de melanina, indicando puntos de acción del triclicazol (inhibidor de HN reductasa) e intermediario acumulado (flaviolina). Tomado de ref. [20].

patogénesis y además tienen propiedades de interés en el área médica e industrial. *Cladosporium fulvum* (agente causal del moho de la hoja de tomate), como otros hongos dematiáceos se caracteriza por desarrollar micelio y esporas pigmentados. El objetivo de este trabajo fue detectar la vía de síntesis de melanina en el

dihidroxi-fenilalanina) DOPA y - (1,8 dihidroxi-naftaleno) DHN y piomelanina (ácido kójico, triclicazol y sulcotriona respectivamente) y/o de inductores de la pigmentación (DOPA y tirosina) e identificar los intermediarios clave utilizando MALDI-MS [20]. La extracción de los metabolitos intermediarios en acetato de etilo

síntesis de la melanina-DHN. Puesto que este metabolito no se detectó en extractos derivados de cultivos control, estos resultados confirman la naturaleza DHN de la melanina de este hongo (Fig. 13).

d) Caracterización de lipopéptidos producidos por bacterias

Las bacterias Gram-positivas pertenecientes al género *Bacillus* se caracterizan por sintetizar una gran variedad de familias de compuestos con actividad viológica diversa. En particular los

peptidos cíclicos que poseen un ácido graso sustituido en la posición β por un grupo hidroxilo o amino respectivamente, mientras que los homólogos de fengicinas son decapeptidos que

bioactivos producidos por las cepas *Bacillus* sp. B19, *Bacillus* sp. P12, *B. amyloliquefaciens* B14 y *B. amyloliquefaciens*

GPBacCA1 se caracterizaron por

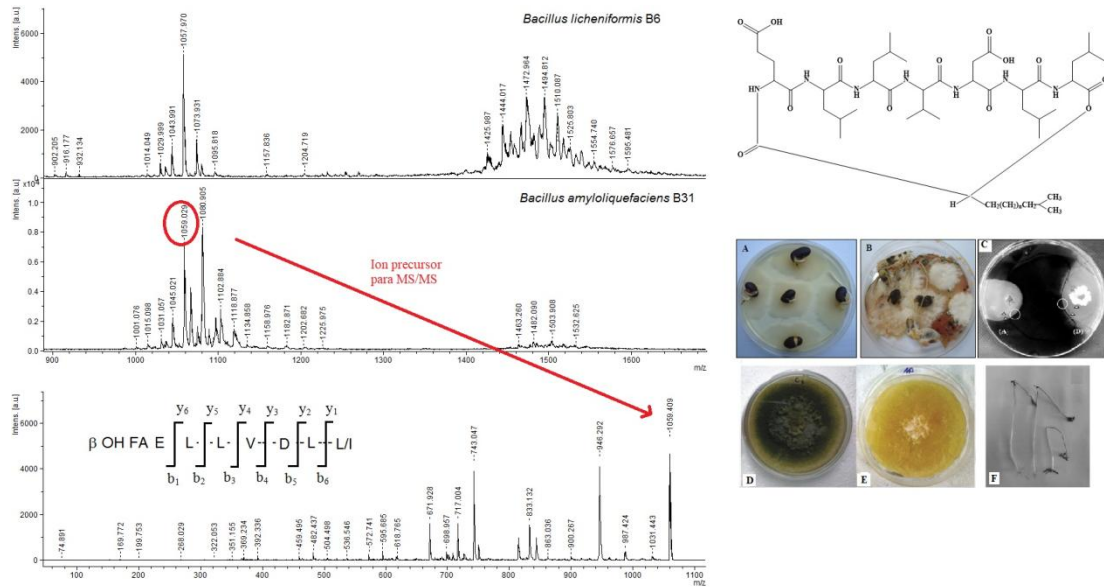


Figura 14. (Arriba izquierda) Estructura general de surfactina. (Arriba derecha) Espectro de masa UV-MALDI en modo positivo de sobrenadante libre de células de *Bacillus mojavensis* y *Bacillus* sp P12. Matriz MALDI: nHo. (Abajo izquierda) fotos de semilla de poroto negro a) tratado con *B. amyloliquefaciens* PGPBacCA1 b) sin tratar: c) acción inhibitoria de *B. subtilis* PGMory7(A) y *B. amyloliquefaciens* PGPBacCA1(B) sobre *M. phaseolina* Apolinario Saravia. Los triángulos muestran donde se extrajo muestra para MALDI; d) cultivo de *Aspergillus parasiticus* NRRL 2999 y e) inhibición del crecimiento por *B. mojavensis* RC1A, f) lesiones causadas por *M. phaseolina* sobre poroto. (Abajo derecha) Espectro de masa MALDI MS/MS en modo positivo del homólogo de surfactina detectado como $[M+Na]^+=1015$. Matriz MALDI: nHo. Tomado de ref. [21].

lipopéptidos que producen pueden usarse como pesticidas biológicos y como bioprotectores en alimentos por su fuerte actividad antimicrobiana. Los lipopéptidos se clasifican en familias de isoformas estrechamente relacionadas que difieren en la longitud y ramificación de las cadenas laterales de ácidos grasos y en la secuencia de aminoácidos. Por ejemplo, los homólogos de surfactina e iturina son hepta-

poseen un ácido graso sustituido en la posición β por un hidroxilo. Se estudiaron cepas del género *Bacillus* aisladas de diferentes suelos productivos de la provincia de Salta (Argentina), para evaluar si promueven el crecimiento del poroto (*Phaseolus vulgaris* L.) y si tienen la capacidad de inhibir diferentes hongos fitopatógenos que afectan el cultivo del mismo, de gran importancia económica en el NOA (Nor Oeste Argentino). Los principales metabolitos

MALDI-MS y se evaluó el efecto en la producción de lipopéptidos al crecer en presencia de cepas de hongos (*Macrophomina phaseolina* y *Sclerotinia sclerotiorum*) que afectan el cultivo de poroto [21]. Cuando fue posible, se extrajeron tapones de 4 mm de diámetro de la colonia bacteriana y de la zona circundante al micelio del hongo para el análisis comparativo por MALDI-MS. Todas las cepas estudiadas demostraron tener efecto positivo

sobre el crecimiento del poroto común (*Phaseolus vulgaris* L.) y actividad antifúngica frente a cepas de *S. Sclerotiorum* y *M. Phaseolina*. Los espectros de masa MALDI revelaron la presencia de homólogos de kurstakinas, surfactina, iturina, polimixinas y fengicina (Fig. 14).

Adicionalmente, se realizaron estudios tendientes a encontrar compuestos con actividad aficida. *Myzus persicae* Sulzer, es un insecto cosmopolita que infecta más de 400 especies de plantas de 40 familias diferentes y es una de las principales plagas que infectan los cultivos de papa. La bacteria *Bacillus amyloliquefaciens* es reconocida como productora de una gran variedad de compuestos bioactivos. El objetivo aquí fue evaluar el efecto aficida de las cepas de *B. amyloliquefaciens* (CBMDDrag3, PGPBacCA2 y CBMDLO3), y de sus metabolitos sobre la mortalidad y fecundidad de *M. persicae*. Se utilizaron muestras de fracción de lipopéptidos, sobrenadantes libre de células y células intactas. Las fracciones de lipopéptidos contenían principalmente homólogos de kurstakina, surfactinas, iturinas y fengycinas, los cuales no tuvieron efecto aficida contra *M. persicae*. Sin embargo, los pulgones alimentados con dietas conteniendo suspensiones de células enteras y su sobrenadante libre de células de las tres cepas de bacterias dieron como resultado

una mortalidad del 100% de pulgones adultos. Además, las células muertas por calor de *B. amyloliquefaciens* CBMDLO3 también tenían acción aficida, aunque la mortalidad del pulgón fue menor que con la dieta con bacterias vivas. Por tanto, estos resultados proponen que *B. amyloliquefaciens*, podría funcionar como un nuevo bioplaguicida ecológico para el control de *M. persicae* [21].

Por otro lado, se caracterizaron por MALDI, los metabolitos sintetizados por *Bacillus subtilis* subsp. *subtilis* PGPMori7 frente a 3 cepas de *M. phaseolina* (Olleros, Campichuelo y Apolinario Saravia). Se extrajo un tapón de 4 mm de la colonia bacteriana y de la zona circundante al micelio de *M. phaseolina* para el análisis por MALDI-MS. *B. subtilis* PGPMori7 produjo homólogos de surfactina, iturina y fengicina. Sin embargo, en la zona de inhibición frente a dicha cepa de *M. phaseolina* solo se identificó un homólogo de fengicina (m/z 1469,58), lo que indica que este compuesto habría sido el único de los homólogos sintetizados por PGPMori7 con capacidad de difundir por el agar a una concentración tal, que habría permitido su detección por espectrometría de masa MALDI-MS; concluyéndose que este compuesto estaría involucrado en la actividad antifúngica de la bacteria [21].

Por último, se caracterizaron los principales metabolitos bioactivos de *Bacillus subtilis* subsp. *subtilis* CBMDC3f (cepa aislada de miel en el NOA). El análisis MALDI-MS reveló la presencia de homólogos de surfactina, iturina y fengicina. Se encontraron dos nuevos homólogos de surfactina y se analizaron sus espectros MALDI-TOF/TOF (MS/MS), contribuyendo de esta forma con información relevante sobre el tipo de lipopéptidos que pueden sintetizar las cepas de *Bacillus* [21]. Adicionalmente se caracterizó mediante MALDI-MS la producción de lipopéptidos de *Bacillus mojavensis* RC1A y de *B. subtilis* R6CA, dos cepas capaces de inhibir el crecimiento de patógenos del género *Aspargillus* y la producción de aflatoxinas tanto en sobrenadante libre de células como en extractos butanólicos enriquecidos en lipopéptidos [22]

REFERENCIAS

- [1] (a) J.H. Gross, Mass Spectrometry, Springer, Berlin, 2017; (b) R.B. Cole, Electrospray and MALDI Mass Spectrometry. Fundamentals, Instrumentation, Practicalities, and Biological Applications. (2nd ed.). Wiley, UK, London, 2010; (c) K. Hiraoka (Ed.) Fundamentals of Mass Spectrometry, Springer, Science+ Business Media, New York, 2013.
- [2] (a) D.C. Liebler, Introduction to Proteomics-Tools for the New Biology, Human Press, Totowa,

- NJ, 2002; (b) M. Mann, O.N. Jensen, Proteomic analysis of post-translational modifications, www.nature.com/naturebiotechnology, Vol 21, 2003.
- [3] E. de Hoffmann, V. Stroobant, *Mass Spectrometry, Principle and Applications*, (3th ed.), Wiley, UK, 2007.
- [4] (a) A. Dell, H. Morris, *Science* 2001, 291, 2351-2356; (b) A. Hlenius, M. Aebi, *Science* 2001, 291, 2364-2369.
- [5] J.J. Thomson, *Philos. Mag.* 1910, 752-767.
- [6] F.W. McLafferty, F. Turecek, *Interpretation of mass spectra*, (4th ed.), University Science Books, California, 1993.
- [7] F. Hillenkamp, J. Peter-Katalinic (Eds.), *MALDI MS. A Practical Guide to Instrumentation, Methods and Applications*. Wiley-VCH, Weinheim, 2007.
- [8] H. Budzikiewicz, C. Djerassi, D.H. Williams, *Structure elucidation of natural products by mass spectrometry*. Holden-Day, San Francisco, 1964.
- [9] H. Budzikiewicz, C. Djerassi, D.H. Williams, *Mass spectrometry of organic compounds*. Holden-Day, San Francisco, 1967.
- [10] K. Tanaka, Y. Ido, S. Akita, Y. Yoshida, T. Yoshida, Detection of high mass molecules by laser desorption time-of-flight mass spectrometry. *Proceed. 2nd Japan-China Joint Symp. Mass Spectrom.*, 1987, 185-188.
- [11] K. Tanaka, The origin of macromolecule ionization by laser irradiation, Nobel Lecture, <http://www.nobel.se>, 2002.
- [12] K. Tanaka, H. Waki, Y. Ido, S. Akita, Y. Yoshida, T. Yoshida, *Rapid Commun. Mass Spectrom.*, 1988, 2, 151-153.
- [13] M. Karas, F. Hillenkamp, *Anal. Chem.* 1988, 60, 2299-2301.
- [14] R. Cozzolino, S. Passalacqua, S. Salemi, P. Malvagna, E. Spina, D. Garozzo, *J. Mass Spectrom.*, 2001, 36, 1031-1037.
- [15] (1) P.J. Todd, T. Gregory Schaaff, P. Chaurand, R.M. Caprioli, *J. Mass Spectrom.* 2001, 36, 355-369; (2) K. Vékey, A. Telekes, A. Vertes (Eds.), *Medical applications of mass spectrometry*, Elsevier, New York, 2008.
- [16] J. Zaia, *Mass Spectrom. Rev.*, 2004, 23, 161-227.
- [17] (a) H. Nonami, S. Fukui, R. Erra-Balsells, *J. Mass Spectrom.* 1997, 32, 287-296; (b) H. Nonami, K. Tanaka, Y. Fukuyama, R. Erra-Balsells, *Rapid Commun. Mass Spectrom.*, 1998, 12, 285-296; (c) R. Erra-Balsells, H. Nonami, *Environ. Control in Biol.* 2002, 40, 55-73; (d) M. E. Monge, R. M. Negri, A. A. Kolender, R. Erra-Balsells, *Rapid Commun. Mass Spectrom.*, 2007, 21, 2638-2646; (e) M. L. Salum, L.M. Itovich, R. Erra-Balsells, *J. Mass Spectrom.* 2013, 48, 1150-1159; (f) T. Schmidt De León, M.L. Salum, R. Erra-Balsells. *J Mass Spectrom.* 2019, 54, 643-654.
- [18] (a) ANMAT Código Alimentario Argentino, Chapter XV, Productos estimulantes o fruitivos, Art.1193-1198. ANMAT, Buenos Aires, 2013; (b) G. Petroselli, T. L. Parapugna, M. G. Lagorio, R. Erra-Balsells, *J. Mass Spectrom.* 2019, 54, 195-203
- [19] G. Petroselli, M. Raices, L. D. Jungblut, A. G. Pozzi, R. Erra-Balsells, *J. Mass Spectrom.* 2018, 53, 465-475.
- [20] R. Medina, C. G. Lucentini, M. E. E. Franco, G. Petroselli, J. A. Rosso, R. Erra-Balsells, P. A. Balatti, M. C. N. Saparra, *Heliyon* 2018, 4, e01036.
- [21] (a) M. J. Torres, G. Petroselli, M. Daz, R. Erra-Balsells, M. C. Audisio, *World J. Microb. Biot.* 2015, 31, 929-940; (b) M. J. Torres, C. Pérez Brandan, G. Petroselli, R. Erra-Balsells, M. C. Audisio, *Microbiol. Res.* 2016, 182, 31-39; (c) M. J. Torres, C. Pérez Brandan, D. C. Sabaté, G. Petroselli, R. Erra-Balsells, M. C. Audisio, *Biol. Control* 2017, 105, 93-99; (d) D. C. Sabaté, C. Pérez Brandan, G. Petroselli, R. Erra-Balsells, M. C. Audisio, *Biol. Control* 2017, 113, 1-8; (e) D. C. Sabaté, C. Pérez Brandan, G. Petroselli, R. Erra-Balsells, M. C. Audisio, *Microbiol. Res.* 2018, 211, 21-30; (f) G. López-Isasmendi, A. E. Alvarez, G. Petroselli, R. Erra-Balsells, M. C. Audisio, *Microbiol. Res.* 2019, 226, 41-47; (g) D. C. Sabaté, G. Petroselli, R. Erra-Balsells, M. C. Audisio, C. Pérez Brandan,

Biological Control 2020, 141, 104131.

[22] M. L. González Pereyra, M. P. Martínez, G. Petroselli, R. Erra-Balsells, L. Cavaglieri, Food Control 2018, 85,392-399.

Últimos Avances en Tecnologías de Base Fotoquímica Aplicadas a la Eliminación de Contaminantes en Agua

Marta I. Litter

RESUMEN

Las tecnologías avanzadas de oxidación/reducción son procesos importantes y novedosos para la eliminación de contaminantes refractarios y/o tóxicos en las aguas residuales. Las especies que participan en estas tecnologías son radicales poderosos, como el radical hidroxilo, HO•, que pueden atacar prácticamente todos los compuestos orgánicos a velocidades de reacción muy altas. También se producen especies reductoras (como electrones acuosos, electrones de la banda de conducción de un semiconductor, radicales superóxido, etc.) capaces de reducir los contaminantes a especies menos tóxicas. En este artículo, se describirán las tecnologías oxidativas o reductoras promovidas por la luz. Se citan los artículos recientes más importantes junto con artículos de revisión que son imprescindibles para la comprensión del tema. Estas tecnologías pueden procesar aguas residuales resistentes a los tratamientos convencionales y son complementarias a los mismos.

INTRODUCCIÓN

Más del 96% del agua en la superficie de la Tierra (alrededor de 332,5 millones de m³) de agua es agua salada, presente en los océanos. Los recursos de agua dulce, como la lluvia, nieve, etc.,

Instituto de Investigación e Ingeniería Ambiental – IIIA, UNSAM, CONICET, 3iA, Universidad de San Martín, Campus Miguelete, 25 de Mayo y Francia, 1650, San Martín, Prov. de Buenos Aires, Argentina.
E-mail: marta.litter@gmail.com

que migran hacia arroyos, ríos, lagos (aguas superficiales) y aguas subterráneas, proporcionan el agua que se necesita para vivir [1]. El agua es un bien esencial para la supervivencia de todas las especies vivas. Los seres humanos utilizan el agua subterránea y el agua superficial disponible para varios fines que incluyen beber, irrigar, lavar, cocinar y diferentes usos industriales [2]. Del agua dulce total, más del 68% está en hielo y glaciares. Otro 30% del agua

dulce está en el suelo. Los ríos son la fuente de la mayor parte del agua dulce superficial que usa el hombre, pero sólo constituyen alrededor de 2120 km³, aproximadamente una décima parte del 1% del agua total.

La Asamblea General de las Naciones Unidas estableció 17 objetivos diferentes para el desarrollo de la sostenibilidad para 2030. Ocho de estos objetivos están directa o indirectamente relacionados con el agua en términos de su

disponibilidad, el tratamiento de aguas residuales industriales y municipales y su política de reutilización y reciclaje [3]. Del total, aproximadamente el 25% se atribuye al consumo industrial y es casi el 40-45% en los países desarrollados respecto del 15-20% en países en desarrollo. Se estima que, a nivel mundial, el 30-50% de las aguas residuales industriales regresan al ecosistema sin ser tratadas o reutilizadas. Estas descargas de agua afectan negativamente al ecosistema y al medio ambiente.

Si bien el agua es un bien esencial para la supervivencia de las especies vivas, debe cumplir con los criterios mínimos de calidad según las normas de la organización mundial de la salud (OMS) [4]. Sin embargo, muchas veces, el agua se contamina y no cumple con estos estándares debido a cambios en sus características (físicas, químicas e incluso biológicas). Esta circunstancia hace que no sea segura para beber u otros propósitos, con consecuencias para la salud [5]. La contaminación del agua se debe principalmente a aguas residuales industriales o aguas residuales municipales. Las aguas residuales afectan negativamente la salud humana y el ambiente, ya que pueden contener metales pesados tóxicos, sólidos en suspensión, compuestos orgánicos complejos, etc.

Generalmente, las aguas residuales municipales se generan a partir de hogares, instalaciones públicas (restaurantes y centros

comerciales) y actividades agrícolas (fertilizantes, insecticidas, fungicidas y herbicidas), mientras que las aguas residuales industriales provienen del agua utilizada en los procesos químicos involucrados en la actividad (por ej., petroquímica, fertilizantes, química fina, farmacéutica, etc.).

Existen métodos convencionales de tratamiento de aguas domésticas y residuales que no se mencionarán aquí, pero básicamente consisten en un tratamiento primario basado en la adición de productos químicos /floculantes, un tratamiento secundario mediante métodos biológicos y un tratamiento de pulido basado en adsorción mediante carbón activado. En la actualidad, las tecnologías convencionales de tratamiento de aguas residuales enfrentan varios problemas en términos de mayor velocidad de consumo de productos químicos, eliminación de lodos, mayores necesidades de energía y espacio. Además, la eliminación eficiente de compuestos orgánicos complejos, la limitación de manejar más aguas residuales que la capacidad de diseño fija, y la falta de mano de obra calificada también son grandes problemas operativos en estas tecnologías. En la mayoría de los casos, el agua contaminada antrópicamente se puede tratar de manera eficiente por métodos biológicos, adsorción de carbón activado u otros adsorbentes, o por tratamientos físicos y químicos (floculación, filtración, oxidación térmica, etc.). Debido a

esto, se intentan desarrollar nuevas tecnologías para superar los problemas mencionados, entre ellos el uso de tecnologías de membranas, procesos avanzados de oxidación, uso de nanomateriales, etc. Además, algunos de los contaminantes que contienen, p. ej., grupos aromáticos, de azufre, nitrógeno, oxígeno, de doble enlace o de alto peso molecular son difíciles de transformar con estas tecnologías.

Las regulaciones ambientales gubernamentales han sido muy estrictas en las últimas décadas, y esto ha conducido al estudio y al desarrollo de nuevas tecnologías de purificación de agua más eficaces. Sin embargo, en algunos casos, estos procedimientos no son adecuados para llegar al límite recomendado para agua potable segura. Por lo tanto, es esencial desarrollar métodos rápidos, simples, eficaces y eficientes para el tratamiento de aguas residuales industriales y municipales.

Recientemente, se han propuesto materiales y métodos alternativos como parte de los avances en las tecnologías de tratamiento de aguas residuales. Estos incluyen principalmente: (i) tecnologías avanzadas o procesos avanzados de oxidación/reducción (TAO/Rs, PAO/Rs), (ii) nuevas tecnologías de membranas, (iii) exploración del uso de nanomateriales, (iv) nuevos adsorbentes y biofloculantes de bajo costo. En este artículo, haremos énfasis en las TAO/Rs que utilizan luz, es decir, procesos fotoquímicos, en estudio

y desarrollo durante las últimas décadas.

TECNOLOGÍAS AVANZADAS DE PURIFICACIÓN DE AGUA

Las TAO/Rs involucran la formación de especies químicas reactivas muy potentes capaces de provocar la transformación de contaminantes muy resistentes

que involucran la generación y uso de especies transitorias poderosas, capaces de cambiar la estructura de las especies químicas. Estas especies pueden generarse fotoquímicamente (incluido el uso de luz solar) o mediante otras formas de energía, y tienen potencial suficiente para oxidar la materia orgánica (MO) y algunos

energético después del flúor (Tabla 1) y puede atacar prácticamente a todos los compuestos orgánicos. HO• reacciona de 10^6 a 10^{12} veces más rápido que los oxidantes alternativos como podría ser el ozono (O_3). Los HO• pueden reaccionar extrayendo un hidrógeno de átomos de carbono alifáticos (ecuación (1)), por adición electrofílica a dobles enlaces o anillos aromáticos (ecuación (2)), o por reacciones de transferencia de electrones⁴ (ecuación (3)). Otras especies de oxígeno reactivas (llamadas ROS por sus siglas en inglés, *reactive oxygen species*) como el radical superóxido, $O_2^{\bullet-}$ y su forma ácida conjugada, el radical hidropéroxilo (también conocido como perhidroxilo), HO_2^{\bullet} , también se producen en muchas TAOs, pero son mucho menos activos que el HO•.

Algunos procesos (fotocatálisis heterogénea, radiólisis, etc.), también pueden producir especies reductoras, permitiendo la transformación de contaminantes de difícil oxidación, como algunos iones metálicos (por ejemplo, el

Tabla 1. Potenciales redox de algunos oxidantes [7].

Especie	E^0 (V, 25 °C) ²
Flúor	3,03
Radical hidroxilo	2,80
Ferrato	2,20
Ozono	2,08
Persulfato	2,01
Peróxido de hidrógeno	1,78
Peryodato	1,60
Dióxido de cloro	1,57
Permanganato	1,51
Acido hipocloroso	1,49
Perclorato	1,39
Cloro	1,36
Oxígeno disuelto	1,23
Bromo	1,09
Yodo	0,54

²Potenciales redox referidos al electrodo estándar de hidrógeno (SHE).

que no pueden ser tratados por métodos convencionales. El concepto de TAOs fue establecido inicialmente por Glaze y col. [6], definidas como procesos

compuestos inorgánicos como metales o metaloides (p. ej., el As(III)). El oxidante más importante generado en estos procesos es el radical hidroxilo (HO•), que es la especie más

⁴ La transferencia de electrones ocurre cuando un electrón se traslada de un átomo o molécula a otra especie química. Es una descripción mecanística de una reacción redox, donde hay un cambio del estado de oxidación de los reactantes y productos. Ver por ejemplo: Greenwood, N. N.; & Earnshaw, A. (1997). *Chemistry of the Elements* (2nd Edn.), Oxford: Butterworth-Heinemann.

Tabla 2. Tecnologías avanzadas de oxidación/reducción.

Procesos no fotoquímicos	Procesos fotoquímicos
Oxidación con permanganato	Fotólisis del agua bajo irradiación con UV de vacío
Ozonización en condiciones alcalinas	UV/ peróxido de hidrógeno
Ozonización con peróxido de hidrógeno (O ₃ /H ₂ O ₂)	UV/O ₃
Fenton y procesos relacionados (Fe ²⁺ /H ₂ O ₂)	Foto-Fenton y procesos relacionados
Oxidación electroquímica	UV/periodato
Radiólisis y y tratamiento con haces de electrones	UV/persulfato
Plasma no térmico	UV/cloro
Persulfato	Fotocatálisis heterogénea
Oxidación con aire húmedo (WAO)	
Oxidación supercrítica del agua (SCWO)	
Descarga electrohidráulica–ultrasonido (US)	
Hierro cerovalente (ZVI)	
Ferrato (K ₂ FeO ₄ , Fe(VI))	

cromo hexavalente (Cr(VI)) o compuestos halogenados.

Existen varias publicaciones sobre el tema, de las cuales mencionaremos algunas de las más recientes o más importantes, para los lectores interesados en profundizar este aspecto [6-20]. Las TAO/Rs se indican en la Tabla 2 y generalmente se dividen en procesos no fotoquímicos y fotoquímicos. Cada método tiene ventajas y desventajas que deben tenerse en cuenta para el tratamiento de aguas impactadas con contaminantes. La mayoría de las TAO/Rs se pueden aplicar a la remediación y desinfección de volúmenes de agua medios o bajos.

Los métodos se pueden utilizar solos o combinados con otras TAO/TARs o con métodos convencionales y se pueden aplicar también al tratamiento de contaminantes en aire y suelos; incluso pueden permitir la desinfección o esterilización de bacterias, virus y otros microorganismos.

Las TAO/Rs ofrecen varias ventajas sobre los métodos de tratamiento convencionales. Una de las más importantes es que los contaminantes no sólo se transfieren de una fase a otra (como en el tratamiento con carbón activado), pero también se transforman químicamente, lo que conduce, en algunos casos, a una mineralización completa (destruc-

ción) del contaminante. Como consecuencia, las TAO/Rs son muy útiles para tratar contaminantes refractarios resistentes a otros tratamientos, por ejemplo, tecnologías biológicas. Pueden tratar contaminantes a niveles muy bajos ($\mu\text{g L}^{-1}$). En este trabajo, nos referiremos esencialmente a las tecnologías fotoquímicas, con breve mención a las no fotoquímicas, en caso de ser necesario, y con énfasis en los procesos oxidativos.

TECNOLOGÍAS FOTOQUÍMICAS

Radiación ultravioleta (UV)

La Figura 1 muestra el espectro electromagnético, es decir, el conjunto de longitudes de onda de todas las radiaciones electro-



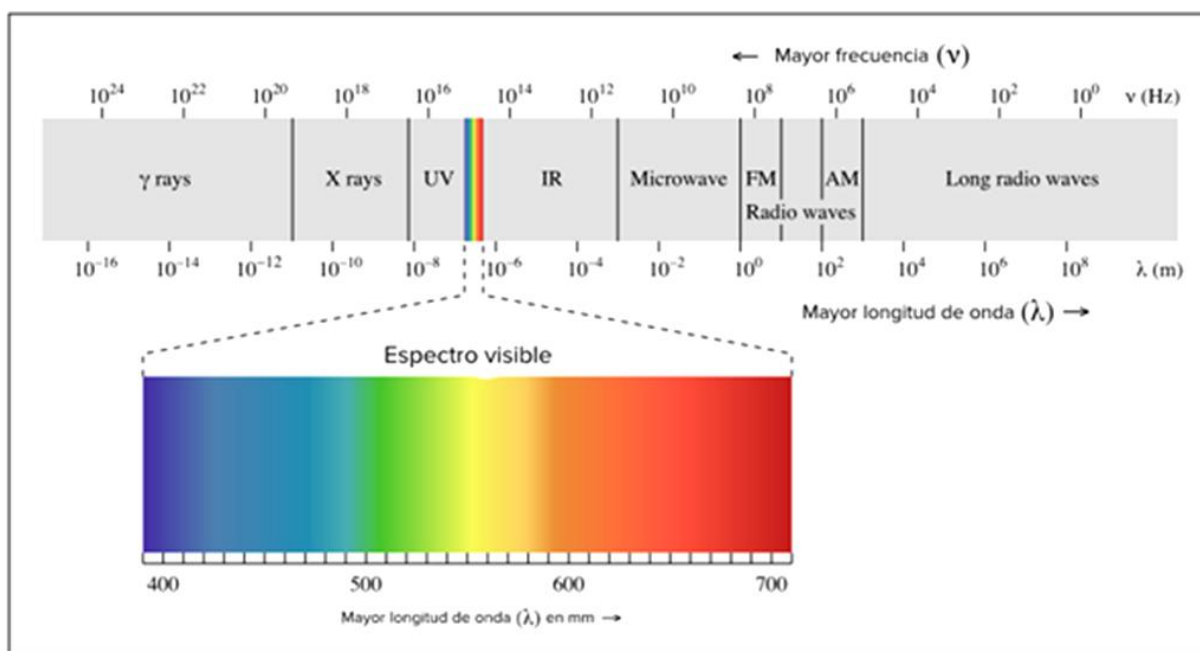


Figura 1: Espectro electromagnético.

magnéticas. Incluye:

(1) **Rayos gamma**, con las longitudes de onda más cortas y las frecuencias más altas. Son ondas de alta energía capaces de viajar a larga distancia a través del aire, y son las más penetrantes.

(2) **Rayos X**, que tienen longitudes de onda más largas que los rayos gamma. Se utilizan en aplicaciones científicas e industriales y, principalmente, en medicina (radiografías).

(3) **Radiación ultravioleta (UV)**, porción del espectro electromagnético que se encuentra entre los rayos X y la luz visible, en el rango de longitudes de onda de 195 a 400 nm. Según su longitud de onda, hay varios subtipos de

rayos UV [21], según indica la Tabla 3.

(4) **Luz o espectro visible**, la parte de espectro electromagnético puede detectar el ojo humano. Cubre todos los colores del azul (400 nm) al rojo (700 nm). La luz azul es la más energética.

(5) **La radiación infrarroja (IR) o radiación térmica**, parte del espectro electromagnético que se encuentra entre la luz visible y las microondas. La fuente natural más importante de radiación infrarroja es el sol.

(6) **Ondas radioeléctricas**, con longitudes de onda largas que van desde unos pocos centímetros a miles de kilómetros de longitud. Sus principales usos

son la televisión, los teléfonos móviles y las comunicaciones por radio.

Fotólisis directa

Es bien conocido el uso de lámparas de vapor de mercurio de baja presión (germicidas, $\lambda_{em} = 254 \text{ nm}$, UV-C) para la desinfección de aguas residuales domésticas e industriales. En este método, la radiación penetra en la pared celular del microorganismo y evita la reproducción de células, inactivando casi el 99,9% de los microorganismos presentes en una corriente de agua. Las lámparas germicidas son económicas y fáciles de instalar y operar.

Tabla 3. Tipo de rayos UV.

Nombre	Abreviatura	Longitud de onda (nm)	Energía por fotón ³ (eV)
Ultravioleta A (onda larga)	UV-A	400–315	3,10–3,94
Ultravioleta B (onda media)	UV-B	315–280	3,94–4,43
Ultravioleta C (onda corta)	UV-C	280–100	4,43–12,40
Ultravioleta cercano	NUV	400–300	3,10–4,13
Ultravioleta medio	MUV	300–200	4,13–6,20
Ultravioleta lejano	FUV	200–122	6,20–10,16
Línea Lyman-alfa	H Lyman-α / Ly-α	122–121	10,16–10,25
Ultravioleta de vacío	UVV	200–10	6,20–124
Ultravioleta extremo	UVE	121–10	10,25–124

³Cuanto de energía electromagnética a una frecuencia determinada. Esta energía, $E = hv$, es el producto de la constante de Planck (h) y frecuencia de la radiación (ν). El cuanto es el valor mínimo que puede tomar una determinada magnitud en un sistema físico, o la mínima variación posible de este parámetro al pasar de un estado a otro (S.E. Braslavsky, *Pure Appl. Chem.* 2007, 79, 293–465).

Aunque el uso de irradiación directa con luz UV-C puede conducir a la transformación de moléculas, la fotólisis directa generalmente no es útil para el tratamiento de contaminantes. El uso de irradiación de 254 nm está

bien documentado en la literatura [1,3,22], y es eficaz, por ejemplo, para decolorar colorantes textiles a bajas concentraciones. Para alifáticos clorados como CCl_4 o 1,1,1-tricloroetano conviene irradiar con lámparas de excímeros de KrCl ($\lambda_{\text{em}} = 222 \text{ nm}$) porque la

ruptura del enlace C-Cl tiene lugar bajo irradiación en el rango 210–230 nm. Sin embargo, estas lámparas son más caras.



Las limitaciones del proceso de fotólisis directa son: (i) baja eficiencia, (ii) aplicación sólo a compuestos que absorben a 200–300 nm, y para compuestos que reaccionan muy lentamente o no reaccionan en absoluto con HO^* , como nitrofenoles, NO_2^- , y compuestos halogenados, (iii) sólo se puede tratar un único compuesto con resultados razonablemente buenos. El

mecanismo y los productos de descomposición de la radiación UV se han informado para contaminantes como DDT, lindano, PCP, TNT y atrazina [23] y referencias allí citadas.

En muchos casos, la fotólisis directa puede favorecerse por la presencia de oxígeno y de sustancias que pueden actuar como fotosensibilizadores (Sens), compuestos que absorben la luz

visible y se excitan a un estado de energía superior a partir del cual se produce la transferencia del exceso de energía a otras moléculas presentes en el sistema. Por ejemplo, algunos colorantes como rosa de bengala, ftalocianinas o azul de metileno, al ser excitados con luz visible, pasan a un estado de mayor energía (triplete) desde el cual pueden transferir este exceso al

oxígeno presente en el medio para formar oxígeno singlete ($^1\text{O}_2$)⁵, un poderoso oxidante capaz de atacar MO y microorganismos [24] (ecuaciones (4)-(6)).

Este proceso aún no ha sido comercializado; la principal restricción es el requisito de eliminar el colorante del agua después del tratamiento. Por esta razón, se han hecho intentos de inmovilización a diferentes soportes, pero este proceso disminuye la eficiencia de producción de $^1\text{O}_2$. Por lo tanto, se necesita todavía más investigación para mejorar la tecnología debido al potencial que tiene el sistema para la desinfección eficaz de agua potable y la transformación de contaminantes químicos.

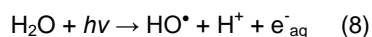
Fotólisis de agua por irradiación con luz ultravioleta de vacío (UVV)

En este proceso, se utiliza luz de longitudes de onda inferiores a la UV-C (< 190 nm), correspondiente al rango del UV de vacío (UVV, Tabla 3) [7,8,15]. Las fuentes de luz más utilizadas son las lámparas de excímeros de Xe ($\lambda_{em} = 172$ nm). La excitación con estas energías produce la ruptura homolítica⁶ de sustancias

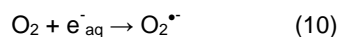
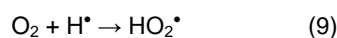
químicas, como en la deshalogenación de hidrocarburos halogenados. Sin embargo, la aplicación de la radiación UVV directa es limitada, y el proceso de fotólisis UVV del agua (ecuación (7)) es el uso más importante para la degradación de contaminantes.



De esta forma, se generan *in situ* radicales HO^\bullet y H^\bullet , no siendo necesaria la adición de otros agentes. El rendimiento cuántico⁷ de la reacción (7) varía entre 0,33 a 185 nm y 0,72 a 147 nm. El proceso produce también electrones acuosos (e^-_{aq}), que son reductores fuertes ($E^0 = -2.77$ V [25]), con un rendimiento cuántico menor (0,05), casi independiente de la longitud de onda en el rango 160-190 nm [26].



En presencia de oxígeno, se generan rápidamente los radicales HO_2^\bullet y $\text{O}_2^{\bullet-}$:



Los oxidantes (HO^\bullet , HO_2^\bullet y $\text{O}_2^{\bullet-}$) y reductores producidos (H^\bullet , e^-_{aq} ,

constituyen el enlace, formando radicales libres.

⁷ El rendimiento cuántico, $\Phi(\lambda)$ es el número de eventos/número de fotones absorbidos = cantidad de reactivo consumido o producto formado/cantidad de fotones absorbidos (S.E. Braslavsky, Pure Appl. Chem. 2007, 79, 293-465). Es decir, se aprovecha más la luz para la transformación cuanto más cercano a 1 sea el valor.

HO_2^\bullet y $\text{O}_2^{\bullet-}$) permiten reducciones y oxidaciones simultáneas que pueden degradar contaminantes en agua y corrientes de aire (con alta humedad). El método puede ser utilizado para tratar compuestos difíciles de oxidar (por ejemplo, hidrocarburos clorados y fluorados como ClCH_3) y para la producción de agua ultrapura.

Las lámparas UVV presentan alta potencia radiante y, debido a la alta absorción del agua a estas longitudes de onda, el proceso presenta alta eficiencia. No son necesarios agentes químicos y la tecnología es simple y competitiva. Sin embargo, se requiere O_2 , lámparas de alta potencia y reactores de cuarzo; la baja penetración de la luz UVV es la principal limitación de la técnica. La tecnología aún no se ha comercializado y sigue en la etapa de desarrollo.

Efecto de la luz sobre las TAO/Rs

En general, la luz aumenta apreciablemente la velocidad de reacción de las TAO/Rs en comparación con la misma tecnología en ausencia de iluminación. Los costos operativos se reducen debido a un menor consumo de energía para generar HO^\bullet en comparación con otros métodos. Como fuente de luz, se pueden utilizar lámparas de arco de mercurio o xenón, con buena emisión en el rango UV-A, aunque algunas aplicaciones requieren UV-C. Si se puede utilizar luz solar, se produce un importante ahorro de energía eléctrica, con instalaciones industriales más seguras. Como la luz

⁵ Por lo general, las moléculas en su estado fundamental se encuentran en un estado singlete; una excepción es el oxígeno, cuyo estado fundamental es un triplete (ver Photochemistry, C.E.Wayne and R.P. Wayne, Oxford University Press Inc., New York, 1996).

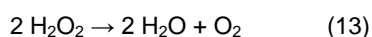
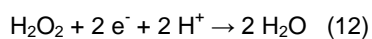
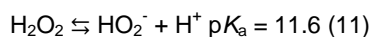
⁶ La ruptura homolítica se produce cuando cada átomo que se separa retiene un electrón de los dos que

se dirige totalmente al sistema, el equipo industrial fotoquímico puede ser más compacto y con tanques más pequeños que los sistemas que no usan luz, aumentando la flexibilidad y robustez del sistema, y permitiendo el uso de una variedad de oxidantes y condiciones de operatividad. Otra ventaja de las tecnologías fotoquímicas es que, en general, no necesitan cambios drásticos en las condiciones experimentales de los efluentes como, por ejemplo, el cambio de pH en la ozonización alcalina (ver más adelante).

A continuación analizaremos los distintos procesos TAO/Rs fotoquímicos.

Proceso UV/H₂O₂

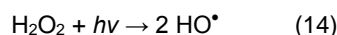
El H₂O₂ es un ácido débil (ecuación (11)), un oxidante poderoso (Tabla 1, ecuación (12)) y un compuesto inestable, que se descompone (o desproporciona, ecuación (13)):



El H₂O₂ ha sido ampliamente usado para eliminar bajos niveles de contaminantes de aguas residuales (cloro, nitrito, sulfito, hipoclorito, etc.) y se usa también como desinfectante [27]. Sin embargo, cuando se usan concentraciones bajas de H₂O₂ (para evitar altos costos), las velocidades de reacción son bajas, por lo cual su uso es ineficaz en el tratamiento de altos niveles de contaminantes refractarios (p. ej., compuestos aromá-

ticos policlorados y algunos compuestos inorgánicos como cianuro).

El poder oxidante del H₂O₂ se puede mejorar sensiblemente mediante la generación de HO• a través de la ruptura de la unión O–O con fotones de energía suficiente (> 213 kJ/mol, la energía de enlace, correspondiente a $\lambda < 280 \text{ nm}$).

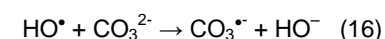
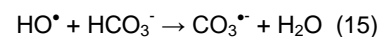


Estos HO• reaccionan luego con las especies químicas presentes como se ha dicho en las ecuaciones (1)-(3).

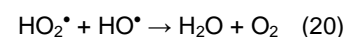
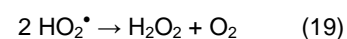
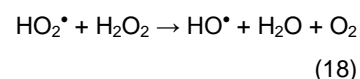
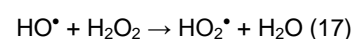
El uso combinado de la luz UV con el H₂O₂ es una de las TAOs más antiguas. La reacción tiene rendimiento cuántico bajo ($\phi_{\text{H}_2\text{O}_2} = 0,5$) debido a la fuerte recombinación de los radicales en solución (inversa de la reacción (12)) [7,19,15], y produce casi cuantitativamente un HO• por cuanto de radiación absorbida en el rango 200-300 nm. La descripción completa de los caminos mecanísticos se puede consultar en la ref. [28].

La fotólisis de H₂O₂ requiere UV-C, y se realiza generalmente con las económicas lámparas germicidas, requiriendo el uso de un fotorreactor de cuarzo ya que el vidrio no deja pasar longitudes de onda menores a los 350 nm. Dado que la absorción de H₂O₂ es máxima a 220 nm, sería más conveniente utilizar lámparas Xe/Hg que emiten en el rango 210-240 nm, pero estas lámparas son más caras.

A pH neutro o ligeramente alcalino, la concentración del anión conjugado del peróxido de hidrógeno (HO₂⁻) aumenta (reacción (11)). Como esta especie tiene mayor coeficiente de absorción ($\epsilon_{254} = 240 \text{ M}^{-1} \text{ cm}^{-1}$) que H₂O₂ ($\epsilon_{254} = 18.6 \text{ M}^{-1} \text{ cm}^{-1}$) [6], el proceso fotoquímico puede ser más eficiente que a pH ácido. Sin embargo, los valores de pH más altos promueven la formación de iones bicarbonato y carbonato (que provienen de la mineralización de la MO presente en las aguas, reacciones (15) y (16)(16)), lo cual inhibe la acción oxidativa de HO•:



En los procesos UV/H₂O₂, la velocidad de degradación de los compuestos depende de la concentración de H₂O₂ y de la naturaleza química y concentración de los contaminantes. Generalmente, la velocidad aumenta con la concentración de H₂O₂ hasta un valor óptimo. A concentraciones altas de H₂O₂, existe un efecto inhibitorio [27,29] debido a reacciones competitivas (ecuaciones (17)-(20)), donde las reacciones (17) y (20) consumen HO• e inhiben la oxidación, y los radicales HO₂[•] son mucho menos reactivos que los HO•.



La Figura 2 muestra un esquema de las reacciones que ocurren en los procesos UV/H₂O₂ [8].

Sin embargo, se debe realizar un seguimiento continuo de la concentración de H₂O₂ durante el proceso para evitar su

concepto de energía eléctrica por orden (EEO), una figura de mérito para evaluar los requisitos energéticos de las TAO/TARs que

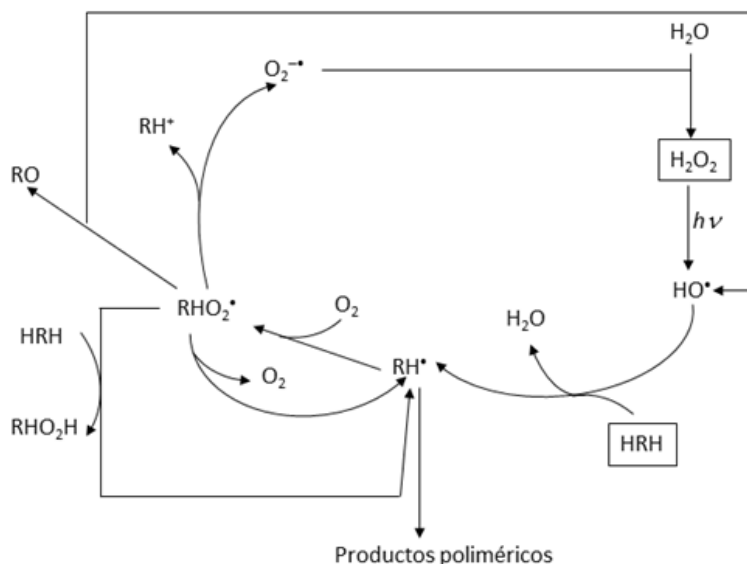


Figura 2: Esquema de las reacciones que ocurren en sistemas UV/H₂O₂ (adaptado de [8]).

Para evitar este inconveniente, se debe determinar la concentración óptima de H₂O₂ mediante ensayos de tratabilidad en laboratorio⁸. Las ventajas del proceso UV/H₂O₂ son las siguientes:

- H₂O₂ es un oxidante accesible, térmicamente estable, y se puede almacenar fácilmente en el sitio de tratamiento.
- H₂O₂ presenta una solubilidad infinita en agua y es una fuente eficaz de HO• ya que produce 2 HO• por cada molécula de H₂O₂.
- No existen problemas de transferencia de masa porque el sistema UV/H₂O₂ es homogéneo.
- La inversión de capital es baja y el funcionamiento es sencillo.

agotamiento. El método no es eficaz para aguas con alta absorbancia a $\lambda < 300$ nm o que contengan compuestos que puedan competir con la generación de HO•, requiriéndose una gran cantidad de H₂O₂ en dichos casos. Es útil para el tratamiento de efluentes industriales, especialmente colorantes, alifáticos clorados, aromáticos, fenoles y fenoles clorados, pesticidas, y productos farmacéuticos [8,12,27,30]. En la actualidad, el proceso UV/H₂O₂ es una tecnología comercial bien entendida, y ya se ha instalado en aplicaciones de agua potable a gran escala [29,30]. Su principal inconveniente es el consumo relativamente alto de electricidad, que conduce a costos de tratamiento considerables.

Recientemente, para el proceso UV/H₂O₂, se ha estudiado el

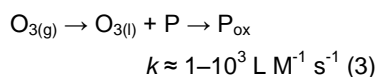
emplean luz UV para la degradación de contaminantes a escala de banco, piloto y planta [31]. La EEO se introdujo en 1996 para evaluar las TAOs [19,32,33] y es la energía eléctrica necesaria para reducir la concentración de un contaminante en un orden de magnitud (reducción del 90%) en una unidad de cantidad de agua. El EEO implica sólo el gasto en energía eléctrica que participa en el proceso de degradación, y se puede aplicar a cualquier otra TAO/TAR que use radiación UV sin que sea necesario explicitar mecanismos u otros detalles de los procesos. La EEO puede utilizarse para comparar sistemas ensayados en diferentes años y laboratorios, independientemente de las configuraciones experimentales utilizadas.

⁸ Los ensayos de tratabilidad permiten conocer los valores de ciertos parámetros necesarios para el óptimo tratamiento del agua en las plantas de depuración.

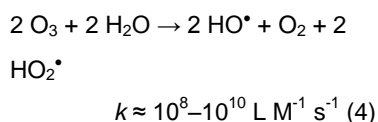
Ozonización fotoinducida**(UV/O₃)**

El ozono se ha utilizado para el tratamiento del agua potable desde principios del siglo XX [34], debido a su alto poder para oxidar contaminantes y a que los productos de descomposición generados en el proceso son inocuos (oxígeno y agua). El compuesto es un oxidante potente (Tabla 1) y un bactericida eficaz.

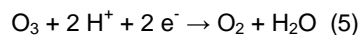
El O₃ puede reaccionar con un compuesto orgánico P por una reacción directa (lenta y selectiva):



o por una reacción radicalaria (rápida y no selectiva), que se acelera en medio alcalino [6,12, 15]:



En la reacción directa, el ozono reacciona con alquenos a través del ataque electrofílico al doble enlace. Esta reacción es muy conocida para estudiar estructuras de compuestos orgánicos con dobles enlaces. En medio ácido, los H⁺ reaccionan con O₃ para formar O₂ y H₂O, evitando una reacción directa del oxidante con los contaminantes (ecuación (23)) [19]:



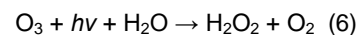
A pH básico, el O₃ ataca directamente OH⁻ para generar HO[•], causando un efecto beneficioso debido a la mayor capacidad oxidante del HO[•] respecto del O₃, con una eficiencia óptima a pH alrededor de 9. El mecanismo completo se puede consultar en [7,19].

En agua, la vida media del ozono es de varios minutos y, debido a que es muy reactivo, puede promover oxidaciones de 10 a 1000 veces más rápidas que la mayoría de otros oxidantes. Debido a su corta vida media, el O₃ no se puede comprimir ni almacenar: debe generarse *in situ* y utilizarse inmediatamente. El reactivo se genera por descarga eléctrica en una corriente de oxígeno o aire (pueden usarse generadores de descarga de corona), y no deja olores ni sabores residuales.

El ozono se aplica industrialmente al tratamiento del agua ya sea solo o en combinación con otros métodos, y es una tecnología comercializada muy conocida. Por el contrario, desde el punto de vista operativo, el uso de ozono es complicado porque existen limitaciones de transferencia de masa debido al difícil acceso de la molécula gaseosa a la fase acuosa por su baja solubilidad en agua, es decir, es un sistema heterogéneo. Se requiere agitación eficaz, au-

mento del tiempo de retención en el reactor mediante grandes columnas de burbujas, o aumento de la solubilidad del ozono por aumento de la presión a varias atmósferas. En conclusión, el uso de ozono implica altos costos de capital y equipo adicional para destruir el ozono remanente, junto con problemas de seguridad y salud y peligro de escape de compuestos orgánicos volátiles (COVs) a la atmósfera causada por el burbujeo del reactivo.

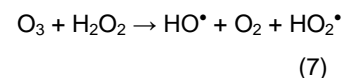
Debido a que la mineralización es muy limitada, este proceso debe mejorarse para la eliminación de contaminantes. En ese sentido, se agrega irradiación UV; la reacción produce H₂O₂ cuantitativamente:



El H₂O₂ generado reacciona con el exceso de O₃ (ecuación

$$(7)(25));$$

dependiendo de la longitud de onda de la irradiación, el H₂O₂ puede fotolizarse (ecuación (14)). Ambas reacciones generan HO[•].



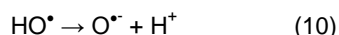
La ventaja del método es que el O₃ tiene un coeficiente de absorción más alto que el H₂O₂ ($\epsilon_{254} = 3300 \text{ M}^{-1} \text{ cm}^{-1}$ [35]), y se puede utilizar para tratar aguas con fondo de alta absorción de



rayos UV. La eficiencia es más alta que la de O₃ solo o el uso de luz UV directa. El reactor no necesita ser de cuarzo porque se puede utilizar luz UV-B (280-315 nm). Si se utiliza λ < 310 nm, tiene lugar la fotólisis de O₃, generando HO• adicional y otros oxidantes, con el consiguiente aumento de la eficiencia [36].

Generalmente, un aumento de la concentración de O₃ aumenta la velocidad de degradación del contaminante. Aunque la ozonización directa puede contribuir, el 87% del proceso de oxidación procede a través del mecanismo radicalario.

A diferencia de los resultados en ausencia de luz, el pH alcalino reduce la velocidad de reacción, debido a la disociación de HO• en el radical anión oxígeno, que es menos activo (ecuación (28)) y a la menor solubilidad del O₃ a pH alto.



La luz solar también mejora la ozonización (proceso denominado Heliozon).

El método se ha aplicado a la potabilización de agua, a la depuración de aguas residuales altamente contaminadas, en desinfección, decoloración de aguas de la industria papelera, degra-

dación de hidrocarburos alifáticos clorados, etc.

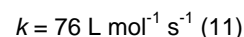
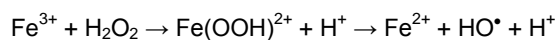
Sin embargo, como ya se ha dicho, el uso de O₃ requiere altos costos de capital y plantea problemas de seguridad y salud.

Proceso foto-Fenton

A fines del siglo XIX, Fenton demostró que una combinación de H₂O₂ y Fe(II) era capaz de oxidar compuestos orgánicos [37]. El mecanismo de la reacción fue propuesto más tarde por Haber y Weiss, quienes postularon que el proceso Fenton consiste en la producción de HO• por reacción en solución (ecuación (29)) y siguientes reacciones ((30)-(37))

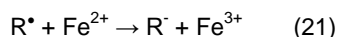
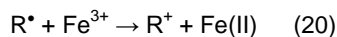
[7,12 ,15 ,38,39]:

Generalmente, el ciclo de generación continua de Fe(II)/Fe(III) tiene lugar hasta que se consume uno de los reactivos (Fe(II) o H₂O₂). HO• puede oxidar al Fe²⁺ (ecuación (31)), pero esta reacción es improductiva en cuanto a su utilidad para la transformación de contaminantes. La reacción productiva es la del HO• con compuestos orgánicos, como se ha indicado en las reacciones (1) a (3). Fe³⁺ y Fe²⁺ pueden también oxidar o reducir los radicales orgánicos, o los radicales pueden recombinarse:



La actividad catalítica del sistema Fe(II)/Fe(III)-H₂O₂ es máxima en el rango de pH 2.8-3.0. A pH bajo, se inhibe la complejación de Fe (III) con H₂O₂ (ecuación (30)); a pH > 1 y en presencia de exceso de H₂O₂, se produce la descomposición del H₂O₂ (ecuación (13)). A pH > 5, se favorece la formación de oxohidróxidos de hierro relativamente inactivos, la precipitación de hidróxido férrico y otros oxohidróxidos de hierro y la aceleración de la autodescomposición del H₂O₂, disminuyendo el poder oxidativo del proceso. Una menor cantidad de iones de hierro libres conduce a la generación de menor cantidad de HO•; además, el potencial de oxidación de este radical disminuye cuando aumenta el pH [39].

Además de Fe(II), otros iones de metales de transición como Fe(III), Cu(I) o Mn(II) pueden promover procesos similares, que se denominan tipo Fenton. También se puede usar hierro cerovalente de tamaño macroscópico (ZVI) o nanopartículas del mismo material (nZVI), como proceso Fenton heterogéneo, pero no desarrollaremos aquí este tema, que puede consultarse en la referencia [40].



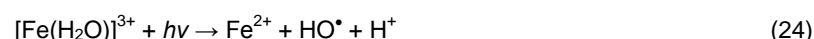
Los procesos Fenton pueden mejorarse en gran medida mediante irradiación UV/Vis ($\lambda < 600 \text{ nm}$), lo cual puede explicarse por cuatro razones principales [40]:

1. La fotólisis de hidroxocomplejos de hierro (III) ($\lambda < 580 \text{ nm}$) produce HO^\bullet adicionales y regenera Fe(II) (ecuaciones (23)(41) y (42)):

2. El Fe(II) fotogenerado participa en la reacción de Fenton (ecuación (29)) y produce HO^\bullet adicionales.

3. Si se usa $\lambda < 310 \text{ nm}$, tiene lugar la fotólisis de H_2O_2 , fuente adicional de HO^\bullet (ecuación (14)).

4. Si hay compuestos orgánicos capaces de formar complejos activos con Fe(III), puede producirse la fotólisis de los mismos, con producción de Fe^{2+} :



Tal como ocurre en los procesos Fenton en la oscuridad, también se puede usar hierro cerovalente de tamaño macroscópico (ZVI) o nanopartículas del mismo material (nZVI) [40].

Como procesos foto-Fenton relacionados podemos mencionar la fotólisis de complejos de hierro(III), activos bajo irradiación y que promueven la formación de Fe(II) y otras especies activas. Por ejemplo, el ácido oxálico forma complejos con Fe(III) que absorben fuertemente de 254 a 450 nm, siendo activo hasta 510 nm. La fotólisis de trisoxalato-ferrato(III) (ferrioxalato) constituye el actinómetro químico⁹ más

usado. Si se agrega H_2O_2 , la reducción fotoquímica del complejo de Fe(III) se acopla a una reacción de Fenton [12,15] y el uso de mezclas de H_2O_2 y ferrioxalato bajo irradiación luminosa es muy eficaz para la fotodegradación de contaminantes orgánicos. Las principales reacciones en el sistema ferrioxalato/ H_2O_2 se pueden encontrar en la ref. [7] y otras allí citadas.

Por la alta absorción del ferrioxalato en el rango 200-400 nm, el método es útil para tratar aguas con alta absorbancia en ese rango, y permite usar luz solar. Los reactivos son total-

El mejor rendimiento del proceso foto-Fenton es a pH alrededor de 3, al igual que en el proceso oscuro. Aunque el método es eficiente, el H_2O_2 debe agregarse de forma continua y el pH debe mantenerse en bajo rango. Los usos más frecuentes han sido el tratamiento de aguas industriales, suelos y lixiviados, nitroaromáticos, fenoles policlorados, herbicidas (2,4-D y 2,4,5-T) y pesticidas.

mente solubles en agua y no hay limitaciones de transferencia de masa. El proceso es económico y el oxidante es accesible. Se ha utilizado para el tratamiento de hidrocarburos aromáticos y cloroaromáticos, etilenos clorados, éteres, alcoholes, cetonas y otros compuestos. Sin embargo, rara vez se alcanza la mineralización total.

También se ensayaron otros complejos de hierro formados con EDTA, NTA, citrato, etc., con resultados variables [7].

FOTOCATÁLISIS HETEROGÉNEA

La fotocatalisis heterogénea es un proceso basado en la absorción directa o indirecta de

⁹ Un actinómetro químico es un sistema para la determinación del

número de fotones en un sistema fotoquímico.

energía UV o visible por un semiconductor sólido, caracterizado por un *bandgap*¹⁰ (energía de banda prohibida). En la región interfacial entre el sólido excitado y la solución, se produce la destrucción o eliminación de contaminantes, sin cambios químicos del catalizador. Se pueden encontrar varias revisiones sobre esta tecnología (ver, p. ej., [8,10,15,40-42]).

Cuando una partícula semiconductor es excitada por luz de energía superior a la del *bandgap*, se crean pares de electrones en la banda de conducción (e_{CB^-}) y huecos en la banda de valencia (h_{VB^+}), que migran a la superficie de la partícula, donde reaccionan con especies adsorbidas, aceptores (A) o donadores (D) (Figura 3). migran a la superficie de la partícula, donde reaccionan con especies adsorbidas, aceptores (A) o donadores (D) (Figura 3).

Los pares de electrones y huecos que no se pueden separar y/o reaccionar con especies de la superficie, tienden a recombinarse con disipación de energía. Los fotocatalizadores más comunes son óxidos o sulfuros metálicos como TiO_2 , ZnO, CdS, óxidos de hierro, WO_3 , ZnS, etc. Estos materiales están disponibles, son económicos, y

muchos de ellos participan en procesos químicos en la naturaleza. Además, la mayoría de ellos puede excitarse con luz en el rango del espectro solar ($\lambda > 310$ nm), lo cual aumenta el interés del posible uso de la luz solar. Hasta ahora, los fotocatalizadores más investigados son óxidos metálicos, particularmente el TiO_2 ; este semiconductor

De esta forma se generan HO^\bullet y otras ROS, que participan en la oxidación.

La fuerza impulsora del proceso de transferencia de electrones en la interfaz es la diferencia de energía entre los niveles del semiconductor y el potencial redox de las especies cercanas a la superficie de la partícula. Los

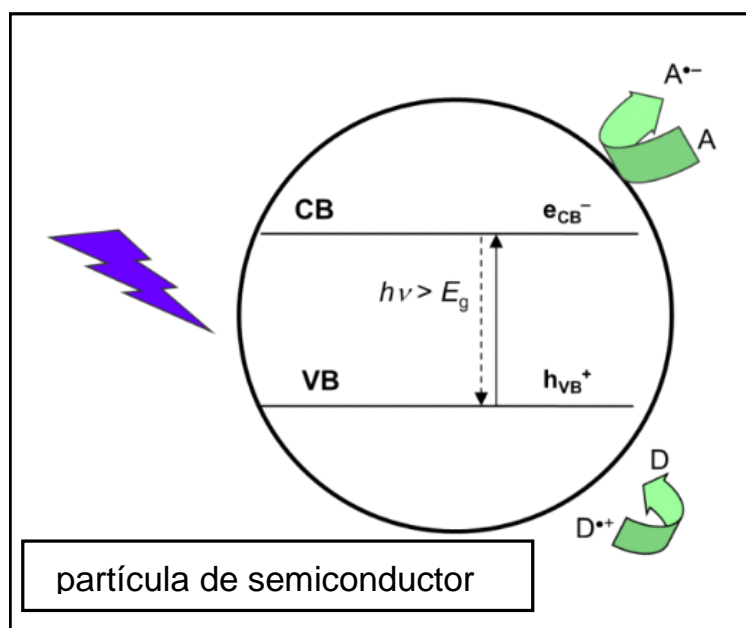
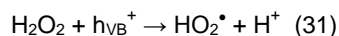
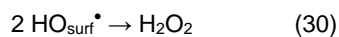
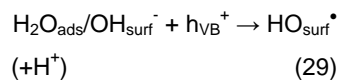
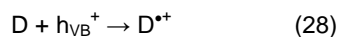


Figura 3: Esquema de un proceso de fotocatalisis heterogénea.

presenta una alta estabilidad química, es muy económico, inerte, y se puede utilizar en un amplio rango de pH.

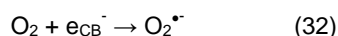
El mecanismo general de la fotocatalisis con TiO_2 se describe con las ecuaciones siguientes:



h_{VB^+} dan lugar a la oxidación de un donador D a $D^{\bullet+}$ mientras que los e_{CB^-} conducen a la reducción de un aceptor A a A^\bullet . Los semiconductores más comunes presentan BV bastante oxidativas (potenciales redox de +1 a +3,5 V) y BC moderadamente reductoras (+0,5 a -1,5 V). Por lo tanto, en presencia de especies redox cercanas o adsorbidas al semiconductor partículas y bajo iluminación, pueden tener lugar reacciones simultáneas de oxidación y reducción en la interfaz semiconductor-solución. Los huecos reaccionan con

¹⁰ El *bandgap* es la diferencia de energía entre el estado no conductor y el conductor de un material. En semiconductores y aislantes (dieléctricos), es la diferencia de energía entre la parte inferior de la banda de conducción (BC) y la parte superior de la banda de valencia (BV). La energía de banda prohibida es la expresión preferida, pero en este artículo lo dejaremos como *bandgap* para mayor claridad.

sustancias adsorbidas, en particular con agua adsorbida o iones OH^- , que generan HO^\bullet y/u otros radicales, como en otras TAOs. Normalmente, en aplicaciones medioambientales, los procesos fotocatalíticos tienen lugar en ambientes aeróbicos, y el oxígeno es la principal especie aceptora de electrones:



La eficiencia de la reacción fotocatalítica depende de diferentes factores. Uno de los aspectos más críticos es la alta probabilidad de recombinación electrón-hueco, que compite con la separación de las cargas fotogeneradas. Por otra parte, dado que no hay separación física entre el sitio de reacción anódica (oxidación por huecos) y catódica (reducción por electrones), pueden ser de importancia otras reacciones inversas. La baja eficiencia es una de las limitaciones más severas de la fotocatalisis heterogénea. Además, el uso de luz UV restringe la tecnología cuando se usa TiO_2 , pero actualmente se están haciendo muchas investigaciones para extender la actividad fotocatalítica al rango visible [18,43-45].

OTROS PROCESOS

Para no hacer este trabajo excesivamente largo solamente mencionaremos otras TAO/TARs, con las referencias correspondientes, así como la combinación de tecnologías. Se puede consul-

tar siempre la referencia [7] y referencias allí citadas.

Proceso UV/cloro: se pueden consultar las referencias [46,47].

Proceso UV/periodato: se puede consultar la referencia [48].

Proceso UV/persulfato: se pueden consultar las referencias [11,49-53].

Uso de nanopartículas de hierro cerovalente en la oscuridad o bajo irradiación UV [40] y referencias allí citadas.

Combinaciones de TAOs/TARs

Cuando se combinan estas tecnologías con otras convencionales, en muchos casos, el grado de mineralización logrado de esta manera es mayor que cuando se usan TAO/TARs individuales. Las más comunes son:

Foto-Fenton y procesos relacionados/ozonización [15,54-58].

UV/ $\text{O}_3/\text{H}_2\text{O}_2$ [13].

UV/ TiO_2 /foto-Fenton [13].

UV/ TiO_2/O_3 (ozonización fotocatalítica) [59,60].

UV/ TiO_2 /ultrasonido (US) [61].

UV/ TiO_2 /ferrato [62,63].

UV/ H_2O_2 /US [64].

UV/ H_2O_2 con pretratamiento con O_3 [65].

UVV y ozono [66].

Debe hacerse énfasis en que el uso de una sola TAO/TAR no es económico y, por lo general, se usan para bajar la DBO hasta un valor apropiado que permita continuar con un tratamiento biológico que, por lo general, es muy barato. En la referencia [67]

se puede leer un excelente ejemplo de la aplicación de un tratamiento fotocatalítico con TiO_2 acoplado con un sistema biológico para la eliminación de cloruro de benzalconio, un tensioactivo catiónico ampliamente usado en formulaciones farmacéuticas y cosméticas.

CONCLUSIONES

El agua es esencial para la vida, pero la mayoría del agua disponible está naturalmente contaminada o se contamina por diversas actividades humanas. Para garantizar un entorno inofensivo y contribuir a la salud pública, el agua debe ser purificada. Existen métodos convencionales de tratamiento de aguas residuales, muy conocidos, cuya selección se basa principalmente en sus características fisicoquímicas o en aspectos de costos, y en la experiencia técnica para operación y mantenimiento. Sin embargo, dichas tecnologías resultan insuficientes para el correcto tratamiento de aguas contaminadas, por lo cual se trabaja científica- y tecnológicamente en el desarrollo de tecnologías avanzadas para superar las dificultades de los tratamientos convencionales.

En este artículo, se presenta un resumen de las tecnologías de tratamiento avanzadas TAO/TARs, que representan un medio poderoso para la eliminación de contaminantes refractarios y/o tóxicos en aguas residuales. Estas tecnologías pueden

procesar aguas residuales resistentes a los tratamientos convencionales, y pueden usarse solas, combinadas o complementarias a las convencionales.

Debe indicarse que no es posible hacer una generalización sobre la aplicación de una TAO/TARs. Cada efluente debe caracterizarse previamente, y deben realizarse pruebas de tratabilidad a escala de laboratorio para elegir el método más adecuado. Es recomendable tener un conocimiento de la cinética de las reacciones en juego, con establecimiento del paso y reactivo (s) limitantes. También es importante la comparación con otros tratamientos antes de aplicar la tecnología. Obviamente, una composición química compleja siempre presenta una dificultad mayor que las mezclas simples y los atrapadores de HO^{\bullet} suelen ser la principal fuente de la reducción de la eficiencia.

En general, las TAO/TARs son más adecuadas para tratar pequeños flujos (o volúmenes) y concentraciones no demasiado altas de contaminantes. Pueden tratarse adecuadamente aguas con bajo contenido de DQO, no superiores a 5 g L^{-1} . Mayores concentraciones requerirían altas concentraciones de reactivos costosos y/o alto consumo de energía eléctrica.

Cada TAO/TARs tiene un valor de pH de trabajo óptimo, y debe controlarse continuamente la variación de pH durante la reacción. Al final del proceso, en algunos casos, será necesario un ajuste de pH antes de un tratamiento

biológico o para que el agua obtenida cumpla con las regulaciones locales antes de descargar el efluente a los cuerpos receptores. Es conveniente el uso de pruebas toxicológicas (Microtox, Anfitox, etc.) para controlar la formación de subproductos nocivos a lo largo del proceso, sobre todo al final del mismo. El principal propósito es poder usar la tecnología hasta que la toxicidad se reduzca a cierto nivel, más allá del cual un método convencional menos costoso puede mejorar el proceso de mineralización, con la obvia reducción de costos.

En general, aún se necesitan requisitos para la amplia comercialización de las TAO/TARs, particularmente a la optimización de reactores y el modelado del sistema.

En conclusión, debe hacerse un esfuerzo considerable para mejorar y adaptar estas tecnologías para tratamiento de aguas, aire y suelos, compaginando los estudios con trabajos fundamentales para el conocimiento profundo de los mecanismos y aspectos cinéticos relacionados con el sistema.

El uso de TAO/TARs, ya sea solas o combinadas, permite elegir el procedimiento más adecuado para el tratamiento de sistemas específicos.

REFERENCIAS

[1] USGS, How Much Water is There on Earth?, [https://www.usgs.gov/special-](https://www.usgs.gov/special-topic/water-science-)

[school/science/how-much-water-there-earth?qt-science_center_objects=0#qt-science_center_objects](https://www.usgs.gov/special-topic/water-science-), acceso el 24/04/2021.

[2] E. Jéquier, F. Constant, Water as an essential nutrient: the physiological basis of hydration, *Europ. J. Clin. Nutr.* 2010, 64, 115-123.

[3] United Nations, 2017, Resolution adopted by the General Assembly on 6 July 2017, Work of the Statistical Commission pertaining to the 2030 Agenda for Sustainable Development (A/RES/71/313), archived 28 November 2020 at the Wayback Machine.

[4] WHO, World Health Organization guidelines for drinking water quality, World Health Organisation Publication, New York, 2008, págs. 197-209.

[5] Advances in Wastewater Treatment I. V. Gandhi, K. Shah (Ed.), Published by Materials Research Forum LLC, Millersville, PA 17551, USA. Published as part of the book series Materials Research Foundations Volume 91, 2021, <https://www.mrforum.com>.

[6] W. H. Glaze, J.-W. Kang, D. H. Chapin). The chemistry of water treatment processes involving ozone, hydrogen peroxide and ultraviolet radiation, *Ozone Sci. Eng.* 1987, 9, 335-352.

[7] W. H. Glaze, F. Beltran, T. Tuhkanen, J.-W. Kang, Chemical models of advanced oxidation processes, *Water Pollut. Res. J. Can.* 1992, 27, 23-42.

[8] O. Legrini, E. Oliveros, A. M. Braun, Photochemical processes

- for water treatment, *Chem. Rev.* 1993, 93, 671-698.
- [9] Calgon Carbon Corporation. The AOT handbook: Advanced oxidation technologies. Markham Editorial, Ontario, 1996.
- [10] G. P. Anipsitakis, D. D. Dionysiou, Transition metal/UV-based advanced oxidation technologies for water decontamination, *Appl. Catal. B* 2004, 54, 155-163.
- [11] P. R. Gogate, A. B. Pandit, A review of imperative technologies for wastewater treatment I: oxidation technologies at ambient conditions, *Adv. Environ. Res.* 2004, 8, 501-551.
- [12] P. R. Gogate, A. B. Pandit, A review of imperative technologies for wastewater treatment II: hybrid methods, *Adv. Environ. Res.* 2004, 8, 553-597.
- [13] X. Domènech, W. Jardim, M. Litter, Tecnologías avanzadas de oxidación para la eliminación de contaminantes. En: Eliminación de contaminantes por fotocatalisis heterogénea, M. A. Blesa, B. Sánchez Cabrero (Ed.), CIEMAT, Madrid, 2004, págs. 7-34.
- [14] M. I. Litter, Introduction to photochemical advanced oxidation processes for water treatment. En: P. Boule, D. W. Bahnemann, P. K. J. Robertson (Ed), *Environmental Photochemistry Part II. The Handbook of Environmental Chemistry*, Vol 2M. Springer, Berlin, Heidelberg, 2005, págs. 325-366.
- [15] J. Blanco-Galvez, P. Fernández-Ibáñez, S. Malato-Rodríguez, Solar photocatalytic detoxification and disinfection of water: Recent overview. *J. Sol. Energy Eng.* 2007, 129, 4-15.
- [16] C. Comninellis, A. Kapalka, S. Malato, S. A. Parsons, I. Poullos, D. Mantzavinos, Advanced oxidation processes for water treatment: advances and trends for R&D, *J. Chem. Technol. Biotechnol.* 2008, 83, 769-776.
- [17] S. Banerjee, S. C. Pillai, P. Falaras, K. E. O'Shea, J. A. Byrne, D. D. Dionysiou, New insights into the mechanism of visible light photocatalysis, *J. Phys. Chem. Lett.* 2014, 5, 2543-2554.
- [18] J. Collins, J. R. Bolton, Advanced oxidation handbook. American Water Works Association, Denver, Colorado, 2016.
- [19] G. Boczkaj, A. Fernandes, Wastewater treatment by means of advanced oxidation processes at basic pH conditions: A review, *Chem. Eng. J.* 2017, 320, 608-633.
- [20] M. I. Litter, R. Candal, J. M. Meichtry (Ed.), *Advanced Oxidation Technologies – Sustainable solutions for environmental treatments*, en: Sustainable Energy Developments, series editors: J. Bundschuh, Balkema, CRC Press, Taylor & Francis Group, Leiden, 2014.
- [21] ISO 21348: Definitions of Solar Irradiance Spectral Categories.
- [22] H. D. Burrows, L. M. Canle, J. A. Santaballa, S. Steenken, Reaction pathways and mechanisms of photodegradation of pesticides, *J. Photochem. Photobiol. B* 2002, 67, 71-108.
- [23] J. Golimowski, K. Golimowska, UV-photooxidation as pretreatment step in inorganic analysis of environmental samples, *Anal. Chim. Acta* 1996, 325, 111-133.
- [24] A.-N. Meng, L.-X. Chaihu, H.-H. Chen, Z.-Y. Gu, Ultrahigh adsorption and singlet-oxygen mediated degradation for efficient synergetic removal of bisphenol A by a stable zirconium-porphyrin metal-organic framework, *Sci. Rep.* 2017, 7, 6297.
- [25] J. H. Baxendale, Effects of Oxygen and pH in the Radiation Chemistry of Aqueous Solutions, *Radiation Res. Suppl.* 1964, 114-138.
- [26] J. L. Lopez, F. S. García Einschlag, M. C. González, A. L. Capparelli, E. Oliveros, T. M. Hashem, A. M. Braun, Hydroxyl radical initiated photodegradation of 4-chloro-3,5-dinitrobenzoic acid in aqueous solution, *J. Photochem. Photobiol. A* 2000, 137, 177-184.
- [27] E. Neyens, J. Baeyens, A review of classic Fenton's peroxidation as an advanced oxidation technique, *J. Hazard. Mater.* 2003 98, 33-50.
- [28] M. I. Stefan, UV/Hydrogen peroxide process. En: *Advanced oxidation processes for water treatment: Fundamentals and applications*, M. I. Stefan (ed), IWA Publishing, London, 2018, págs. 7-122.
- [29] R. López Cisneros, A. Gutarra Espinoza, M. I. Litter, Photodegradation of an azo dye of the textile industry, *Chemosphere* 2002, 48, 393-399.

- [30] J. C. Kruithof, P. C. Kamp, B. J. Martijn, UV/H₂O₂ treatment: A practical solution for organic contaminant control and primary disinfection, *Ozone Sci. Eng.* 2007, 29, 273–280.
- [31] O. Keen, J. Bolton, M. Litter, K. Bircher, T. Oppenländer, Standard reporting of Electrical Energy per Order (EEO) for UV/H₂O₂ reactors, *Pure Appl. Chem.* 2018, 90, 1487-1499.
- [32] J. R. Bolton, K. G. Bircher, W. Tumas, C. A. Tolman, Figures-of-merit for the technical development and application of advanced oxidation processes, *J. Adv. Oxid. Technol.* 1996, 1, 13–17.
- [33] J. R. Bolton, K. G. Bircher, W. Tumas, C. A. Tolman, Figures-of-merit for the technical development and application of advanced oxidation technologies for both electric- and solar-driven systems (IUPAC Technical Report), *Pure Appl. Chem.* 2001 73, 627–637.
- [34] D. Gerrity, F. L. Rosario-Ortiz, E. C. Wert, Application of ozone in water and wastewater treatment. En: M. I. Stefan (ed), *Advanced oxidation processes for water treatment: Fundamentals and applications*, IWA Publishing, London, 2018, págs. 123–162.
- [35] C.-I. Koh, S.-J. Lee, J.-W. Kang, New UV-Flux Measurement Method Using Ozone Photolysis Rate. *Ozone Sci. Eng.* 2001, 23, 245–253.
- [36] G. R. Peyton, W. H. Glaze, Destruction of pollutants in water with ozone in combination with ultraviolet radiation. 3. Photolysis of aqueous ozone, *Environ. Sci. Technol.* 1988, 22, 761–767.
- [37] H. J. J. Fenton, LXXIII.—Oxidation of tartaric acid in presence of iron, *J. Chem. Soc. Trans.* 1894, 65, 899–910.
- [38] J. J. Pignatello, E. Oliveros, A. MacKay, Advanced oxidation processes for organic contaminant destruction based on the Fenton reaction and related chemistry, *Crit. Rev. Environ. Sci. Technol.* 2006, 36, 1–84.
- [39] M. I. Litter, M. Slodowicz, An overview on heterogeneous Fenton and photoFenton reactions using zerovalent iron materials, *J. Adv. Oxid. Technol.* 2017, 20, 20160164.
- [40] A. Fujishima, X. Zhang, Titanium dioxide photocatalysis: present situation and future approaches. *C. R. Chim.* 2006, 9, 750–760.
- [41] B. Ohtani, Photocatalysis A to Z—What we know and what we do not know in a scientific sense, *J. Photochem. Photobiol. C* 2010, 11, 157–178.
- [42] S.-Y. Lee, S.-J. Park, TiO₂ photocatalyst for water treatment applications, *J. Ind. Eng. Chem.* 2013, 19, 1761–1769.
- [43] M. Pelaez, N. T. Nolan, S. C. Pillai, S. K. Seery, P. Falaras, A. G. Kontos, P. S. M. Dunlop, J. W. J. Hamilton, J. A. Byrne, K. O’Shea, M. H. Entezari, D. D. Dionysiou, A review on the visible light active titanium dioxide photocatalysts for environmental applications. *Appl. Catal. B* 2012, 125, 331–349.
- [44] S. Dong, J. Feng, M. Fan, Y. Pi, L. Hu, X. Han, M. Liu, J. Sun, J. Sun, Recent developments in heterogeneous photocatalytic water treatment using visible light-responsive photocatalysts: a review, *RSC Adv.* 2015, 5, 14610–14630.
- [45] M. I. Litter, E. San Román, M. A. Grela, J. M. Meichtry, H. B. Rodríguez, Sensitization of TiO₂ by dyes: A way to extend the range of photocatalytic activity of TiO₂ to the visible region. En: *Visible light-active photocatalysis: Nanostructured catalyst design, mechanisms, and applications*, S. Ghosh (ed), Wiley-VCH Verlag, Weinheim, 2018.
- [46] J. Jin, M. G. El-Din, J. R. Bolton, Assessment of the UV/chlorine process as an advanced oxidation process, *Water Res.* 2011, 45, 1890–1896.
- [47] C. Sichel, C. Garcia, K. Andre, Feasibility studies: UV/chlorine advanced oxidation treatment for the removal of emerging contaminants, *Water Res* 2011, 45, 6371–6380.
- [48] L. K. Weavers, I. Hua, M. R. Hoffmann, Degradation of triethanolamine and chemical oxygen demand reduction in wastewater by photoactivated periodate, *Water Environ. Res.* 1997, 69, 1112–1119.
- [49] G. P. Anipsitakis, D. D. Dionysiou, Radical generation by the interaction of transition metals with common oxidants, *Environ. Sci. Technol.* 2004, 38, 3705–3712.
- [50] T. K. Lau, W. Chu, N. J. D. Graham, The aqueous degradation of butylated hydroxyl-anisole by UV/S₂O₈²⁻: Study of reaction mechanisms via dimerization and mineralization,

- Environ. Sci. Technol. 2007, 41, 613–619.
- [51] Y.-H. Guan, J. Ma, X.-C. Li, J.-Y. Fang, L.-W. Chen, Influence of pH on the formation of sulfate and hydroxyl radicals in the UV/peroxymonosulfate system, Environ. Sci. Technol. 2011, 45, 9308–9314.
- [52] N. Karpel Vel Leitner, Sulfate radical ion – based AOPs. En: Advanced oxidation processes for water treatment: Fundamentals and applications, M. I. Stefan (ed), IWA Publishing, London 2018, págs. 429–460.
- [53] M. Brienza, I. A. Katsoyiannis, Sulfate radical technologies as tertiary treatment for the removal of emerging contaminants from wastewater, Sustainability 2017, 9, 1604.
- [54] C. Canton, S. Esplugas, J. Casado, Mineralization of phenol in aqueous solution by ozonation using iron or copper salts and light, Appl. Catal. B 2003, 43, 139–149.
- [55] E. Brillas, M. A. Baños, J. A. Garrido, Mineralization of herbicide 3,6-dichloro-2-methoxybenzoic acid in aqueous medium by anodic oxidation, electro-Fenton and photoelectro-Fenton, Electrochim. Acta 2003, 48, 1697–1705.
- [56] E. Brillas, J. C. Calpe, P.-L. Cabot, Degradation of the herbicide 2,4-dichlorophenoxyacetic acid by ozonation catalyzed with Fe²⁺ and UVA light, Appl. Catal. B 2003, 46, 381–391.
- [57] B. Kasprzyk-Hordern, M. Ziótek, J. Nawrocki, Catalytic ozonation and methods of enhancing molecular ozone reactions in water treatment, Appl. Catal. B 2003, 46, 639–669.
- [58] L. Sánchez, X. Domènech, J. Casado, J. Peral, Solar activated ozonation of phenol and malic acid, Chemosphere 2003, 50, 1085–1093.
- [59] F. J. Beltrán, F. J. Rivas, R. Montero-de-Espinosa, Catalytic ozonation of oxalic acid in an aqueous TiO₂ slurry reactor, Appl. Catal. B 2002, 39, 221–231.
- [60] M. Mehrjouei, S. Müller, D. Möller, A review on photocatalytic ozonation used for the treatment of water and wastewater, Chem. Eng. J. 2015, 263, 209–219.
- [61] C. Berberidou, I. Poullos, N. P. Xekoukoulotakis, D. Mantzavinos, Sonolytic, photocatalytic and sonophoto-catalytic degradation of malachite green in aqueous solutions, Appl. Catal. B 2007, 74, 63–72.
- [62] V. K. Sharma, N. J. D. Graham, X.-Z. Li, B.-L. Yuan, Ferrate(VI) enhanced photocatalytic oxidation of pollutants in aqueous TiO₂ suspensions, Environ. Sci. Pollut. Res. 2010, 17, 453–461.
- [63] V. K. Sharma, R. Zboril, R. S. Varma, Ferrates: Greener oxidants with multimodal action in water treatment technologies, Acc. Chem. Res. 2015, 48, 182–191.
- [64] P. C. Fung, Q. Huang, S. M. Tsui, C. S. Poon, Treatability study of organic and colour removal in desizing/dyeing wastewater by UV/US system combined with hydrogen peroxide, Water Sci. Technol. 1999, 40, 153–160.
- [65] I. Arslan, I. A. Balcioglu, Advanced oxidation of raw and biotreated textile industry wastewater with O₃, H₂O₂/UV-C and their sequential application, J. Chem. Technol. Biotechnol. 2001, 7, 53–60.
- [66] K. Zoschke, H. Börnick, E. Worch, Vacuum-UV radiation at 185 nm in water treatment – A review, Water Res. 2014, 52, 131–145.
- [67] E. López Loveira, P. S. Fiol, A. Senn, G. Curutchet, R. Candal, M. I. Litter, TiO₂-photocatalytic treatment coupled with biological systems for the elimination of benzalkonium chloride in water, Sep. Purif. Technol. 2012, 91, 108–116.

Potenciales Beneficios del uso de CBD en Epilepsia

Taborda Gómez C^{1,2}, Auzmendi J^{1,2}, Lazarowski A^{1*}

RESUMEN

En los últimos años ha crecido la evidencia del uso de cannabis para el control de las crisis convulsivas en las epilepsias resistentes (ER) al tratamiento. De la gran cantidad de compuestos obtenidos de las plantas de cannabis, solo el cannabidiol (CBD) ha sido aprobado para su uso en el control de las ER. En esta revisión resumimos la información más reciente concerniente al rol de CBD en el control de las crisis epilépticas, así como posibles mecanismos de acción a nivel central y periférico y potenciales efectos colaterales inducidos por su administración crónica.

INTRODUCCION

La epilepsia es una enfermedad neurológica caracterizada por la presencia de convulsiones espontáneas y recu-

rrentes. En la actualidad, 50 millones de personas en todo el mundo padecen epilepsia [1,2].

A pesar del desarrollo de nuevos medicamentos antiepilépticos en las últimas décadas, el 30% de los pacientes con epilepsia continúan teniendo convulsiones, resultando en el desarrollo de una epilepsia fármacorresistente o refractaria (ER). La ER se asocia con comorbilidades psiquiátricas y psicológicas, mientras que la falta de control de las crisis epilépticas, se asocia a dificultades socioeconómicas y laborales, alto índice de suicidio y alto riesgo de muerte súbita inesperada (cuadro denominado como SUDEP) [3,4]. La alta prevalencia de epilepsia fármacorresistente ha generado la

búsqueda de nuevas soluciones utilizando fármacos antiguos.

¿EL CANNABIS ES UNA OPCIÓN PARA LA EPILEPSIA?

El cannabis, una de las plantas más antiguas que cultivan los humanos, fue utilizado alrededor 1800 AC, en el Medio Oriente para controlar las convulsiones nocturnas [5].

La evidencia experimental obtenida durante la década de 1970-1980 indica que los "fitocannabinoides" obtenidos del cannabis ejercen efectos anticonvulsivos en modelos experimentales tanto de convulsiones agudas [6-9] como de modelos de epilepsia [10-14].

Durante la última década, el uso de extractos de cannabis ha sido de gran interés en el control de la

1-Departamento de Bioquímica Clínica, Facultad de Farmacia y Bioquímica, Instituto de Fisiopatología y Bioquímica Clínica (INFIBIOC), Universidad de Buenos Aires, Buenos Aires C1120AAF, Argentina.

2-Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), Buenos Aires C1425FQD, Argentina.

*Autor correspondiente:
nadiatom@ffy.uba.ar

La presente revisión, está basada en el artículo "Is cannabidiol a drug acting on unconventional targets to control drug-resistant epilepsy? Rocha L, Frías-Soria CL, Ortiz JG, Auzmendi J, Lazarowski A. *Epilepsia Open*. 2020;5(1):36-49

ER, principalmente en niños con síndromes epilépticos graves (epilepsias catastróficas), con disfunción cognitiva como es el caso del síndrome de Dravet, caracterizado por mutantes en el gen del canal de sodio SCN1A, o el síndrome de Lennox-Gastaut. Las evidencias clínicas han mostrado que tanto los pacientes pediátricos como los adultos con ER pueden lograr una mejora significativa, con la administración de cannabis. Sin embargo, otros estudios indican que la eficacia de los fitocannabinoides para el tratamiento anticonvulsivo es contradictoria [15,16]. Basado en esta información, la National Academy of Science, Engineering and Medicine de los EE. UU. ha indicado que la evidencia respaldatoria del uso de cannabis en la epilepsia es aún insuficiente [17]. Los resultados contradictorios sobre el fracaso o el éxito del cannabis en la epilepsia pueden explicarse por varias circunstancias. En primer lugar, la farmacocinética y la farmacodinámica de los cannabinoides dependen de su formulación y su vía de administración. De hecho, algunos efectos de los cannabinoides se explican por interacciones farmacocinéticas, ya sea por la inhibición o por inducción de las enzimas implicadas en el metabolismo de los fármacos anticonvulsivantes [18]. Otro problema importante es que la biodisponibilidad de los cannabinoides administrados oralmente en formulaciones líquidas que

aumenta especialmente con la ingestión de comidas ricas en grasas [19].

Por otro lado, se desconocen los efectos del cannabis sobre diversos tipos específicos de epilepsia. Con respecto a este tema, existen pocos estudios sobre los efectos de los extractos de cannabis en la epilepsia del lóbulo temporal (ELT), el síndrome epiléptico fármaco-resistente más común en adultos (ver más abajo). La influencia de factores clínicos (edad del paciente, género, etc.) en la eficacia del cannabis no se ha considerado en los estudios clínicos. Otro factor que puede modificar los efectos del cannabis es su coadministración con otros fármacos, especialmente anticonvulsivos. Existen pocos datos sobre la interacción farmacocinética y farmacodinámica entre los diferentes compuestos del cannabis y otras drogas [20].

Una condición importante que explica los efectos contradictorios de cannabis en la epilepsia es que esta planta contiene más de 480 compuestos, incluidos los no cannabinoides como flavonoides prenilados, derivados de estilbenoides y lignanamidas [21-23]. El contenido de los diferentes fitocannabinoides depende de cada especie, por ejemplo mientras que *Cannabis sativa* Europea contiene más cannabidiol (CBD) que Δ^9 -tetrahidrocannabinol (THC), *Cannabis indica* Asiática tiene más THC que CBD

(23) y *Cannabis ruderalis* contiene las menores concentraciones de THC [22].

Aunque el cannabis artesanal se considera una "terapia milagrosa", en la actualidad no existen normativas para garantizar la calidad y pureza del fármaco durante el procedimiento de obtención. El aceite de cannabis artesanal puede contener contaminantes abióticos (polvo, fertilizantes) y bióticos (es decir, insectos, hongos, bacterias), metales pesados, pesticidas, etc. [24], situación que representa un alto riesgo para la salud de los pacientes. Desafortunadamente, la evaluación de los efectos del cannabis artesanal es difícil, ya que ha arrojado resultados controvertidos y carece de suficientes estudios clínicos controlados [25].

La administración de cannabis a largo plazo aumenta el riesgo de adicción y se asocia con efectos secundarios como la bronquitis crónica. También potencia la posibilidad de presentar psicosis y esquizofrenia en personas con predisposición a dichos trastornos. Los adolescentes son más vulnerables a los efectos secundarios del consumo crónico de cannabis, ya que puede presentarse un desarrollo cerebral alterado, deterioro cognitivo, malos resultados académicos, etc. [26]. Según esta información, es evidente la necesidad de obtener más información sobre los efectos

beneficiosos del aceite de cannabis en el control de la ER y establecer procedimientos estandarizados para obtener productos homogéneos. Además, es fundamental dilucidar la contribución de cada compuesto en los efectos terapéuticos y/o a los efectos adversos inducidos por el cannabis.

¿ES EL CANNABIDIOL UNA NUEVA ESPERANZA EN LA TERAPIA DE LA EPILEPSIA RESISTENTE A DROGAS?

En la actualidad, existen estudios que indican que algunos compuestos derivados de cannabis como THC, CBD, Δ^9 -tetrahydrocannabivarina, cannabidiivarina y ácido Δ^9 -tetrahydrocannabinólico, pueden inducir efectos antiepilepticos [27,28]. Los principales fitocanna-binoides evaluados con este fin son el THC y el CBD. El THC es un ingrediente activo de la planta de cannabis que induce efectos psicoactivos, aumenta el estrés oxidativo y produce disfunción mitocondrial en el cerebro, condiciones que incrementan el riesgo de accidente cerebrovascular y daño cerebral [29,30]. Por estas razones, existe poco interés por THC como fármaco anticonvulsivo. Por otra parte, el CBD tiene una estructura terpenofenólica y grupos hidroxilo en los carbonos 1 y 3 [31]. El CBD comparte características lipofílicas con el resto de los cannabinoides, carece de efectos

psicoactivos [32] e induce efectos neuroprotectores [33].

El metabolismo del CBD comprende oxidación e hidroxilación a través de diferentes enzimas de la familia del citocromo P450 (CYP450) (34-36). Los estudios *in vitro* con microsomas hepáticos humanos revelaron que la 6 α -hidroxilación del CBD está mediada por las isoformas CYP3A4 y CYP2C19, la 6 β -hidroxilación es inducida por CYP3A4, mientras que la 7-hidroxilación está mediada por CYP2C19 [35].

Las enzimas glucuronosiltransferasas y sulfottransferasas también están involucradas en el metabolismo del CBD [36,37]. En la actualidad, se han identificado más de cincuenta metabolitos del CBD en la orina [34,38] entre los que se destacan el 7-carboxicannabidiol (7-COOH-CBD), el 7-hidroxi-cannabidiol (7-OH-CBD) y el 6-hidroxi-cannabidiol (6-OH-CBD) como los más abundantes. Aunque se desconoce la actividad biológica de muchos de estos metabolitos [36,39], se ha sugerido que el 7-OH-CBD, detectado y aislado de humanos, induce efectos anticonvulsivos en ratones [40].

Por otro lado, el CBD es un potente inhibidor de CYP1A1, CYP2B6, CYP2D6 y CYP2C19 con una consiguiente reducción del metabolismo de algunas drogas, lo que explica al menos

en parte los aumentos en los niveles séricos de THC, topiramato, rufinamida, clobazam y *N*-desmetilclobazam cuando se administran conjuntamente con CBD [41-43].

Este efecto es más evidente cuando los medicamentos se administran por vía oral sugiriendo que el CBD favorece los efectos de los medicamentos anticonvulsivos [44]. Esta idea está respaldada por el estudio clínico llevado a cabo por Cunha y cols., quienes describieron por primera vez, que la administración crónica de CBD conjuntamente con fármacos anticonvulsivos redujo la actividad convulsiva en siete de ocho pacientes con ELT resistente a los medicamentos [45]. También apoyan esta observación los resultados obtenidos empleando modelos experimentales en los que se observó que CBD reduce la actividad convulsiva [47-49], retrasa el proceso de epileptogénesis, disminuye la excitabilidad neuronal y evita la muerte celular en el hipocampo particularmente de animales con ELT [50,51,58]. A partir de 2018 la Administración de Drogas y Alimentos de los EE. UU. (FDA) aprobó el uso de CBD en solución oral (Epidiolex®) [55] para controlar las convulsiones asociadas con el síndrome de Lennox-Gastaut [52], el síndrome de Dravet [53], y los espasmos infantiles [54].

Además del efecto antiepiléptico, se ha descrito que CBD induce un efecto ansiolítico, antipsicótico y neuroprotector, postulándolo como un candidato para el control de las comorbilidades de la ELT [56]. Sin embargo, los efectos del CBD en otros tipos de ER no son concluyentes debido a la presencia de sujetos que no responden al tratamiento [59-62].

Los datos clínicos en humanos indican que los extractos ricos en CBD son más efectivos para reducir la frecuencia de las convulsiones en comparación con el CBD purificado. Además, los extractos ricos en CBD reducen la actividad convulsiva con una dosis diaria promedio significativamente más baja, lo que respalda una mayor potencia en comparación con el CBD purificado. Estos efectos sugieren que otros componentes presentes en los extractos, potenciarían el efecto del CBD, pero aún dichos componentes y/o los mecanismos de interacción con CBD no han sido dilucidados. Entre los efectos adversos observados, podemos mencionar alteraciones del apetito, náuseas, diarreas y otras alteraciones gastro-intestinales, somnolencia, cambios de peso, fatiga, entre otros [63]. Se sabe que el THC aumenta los efectos analgésicos del CBD [64]. Por otro lado, El CBD potencia o reduce algunos efectos inducidos por el THC [65]. Sin embargo, se desconoce si la interacción THC y CBD facilita o reduce la actividad convulsiva.

EFFECTOS CONVENCIONALES QUE EXPLICAN LA ACCION ANTIEPILÉPTICA DEL CANNABIDIOL

Diferentes blancos moleculares están involucrados en los mecanismos por los cuales el CBD puede inducir efectos antiepilépticos. Los análisis computacionales y los ensayos de desplazamiento de ligandos revelaron que el CBD aumenta los niveles de endocannabinoides (anandamida) como resultado de la inhibición de las proteínas de unión a ácidos grasos (FABP) que median el transporte de anandamida a su enzima catabólica (amida-ácido graso-hidrolasa [FAAH]) [43]. Por otro lado, los experimentos realizados por Pertwee y col., han indicado que el CBD es un ligando de muy baja afinidad por los receptores del sistema endocannabinoide CB1 y CB2 sobre los que actúa como antagonista [66]. El CBD es un agonista de los canales TRPV1 [27] y activador de los canales TRPV2 [70]. Además, actúa como un modulador alostérico de los receptores opioides *mu* y *delta* [71]. El CBD induce un bloqueo en estado de reposo de los canales de sodio y bloquea la subunidad dependiente de voltaje del canal potasio Kv2.1 [72].

Se ha mostrado que CBD ejerce su efecto neuroprotector mediante la activación de los receptores CB2 y adenosina A2 [73] y en modelos experimentales de dolor,

el CBD induce efectos analgésicos a través de la activación de los canales 5-HT1A y TRPV1 [74,75]. Usando cocultivos de células endoteliales microvasculares del cerebro humano y de astrocitos para modelar la barrera hematoencefálica (BHE) se encontró que CBD induce la neuroprotección en el accidente cerebrovascular isquémico mediante la activación de los receptores PPAR γ y 5-HT1A [76].

También se documentó que CBD ejerce efectos de tipo ansiolítico a través de la activación de los receptores 5-HT1A cuando fue inyectado en el área dorsolateral gris periacueductal de ratas [77].

Se ha sugerido que el CBD juega un papel fundamental en la neurotransmisión glutamatérgica, sin embargo, los hallazgos fueron controvertidos. El CBD indujo efectos similares a los anti-depresivos asociados con una mayor neurotransmisión de serotonina y glutamato en un modelo de depresión en ratones [78]. Otros estudios indican que el CBD reduce la hiperactividad de los receptores NMDA a través del antagonismo de los receptores *sigma* 1 (σ 1R) [79]. El CBD también redujo la liberación de glutamato y protegió de la actividad convulsiva en un modelo experimental de convulsiones inducidas por cocaína [80]. El efecto del CBD sobre la neurotransmisión glutamatérgica es relevante

porque altos niveles extracelulares de glutamato están asociados con convulsiones recurrentes y epilepsia crónica [81]. De hecho, el bloqueo de los receptores NMDA puede prevenir y, en algunos casos, revertir ciertas condiciones patológicas asociadas con enfermedades neurológicas, incluida la epilepsia [82, 83].

La alta neurotransmisión glutamatergica, la neuroinflamación y el estrés oxidativo son fenómenos interconectados que ocurren en el cerebro de sujetos con epilepsia. Curiosamente, el aumento del estrés oxidativo y la neuroinflamación asociados con la epilepsia fármacorresistente pueden revertirse cuando la actividad convulsiva disminuye como resultado de la resección quirúrgica de los focos epilépticos [84-87].

La neuroinflamación inducida por convulsiones es una afección asociada con el aumento de citoquinas como la interleuquina IL-1 β , el factor de necrosis tumoral (TNF), el factor de crecimiento transformante (TGF)- β y señales de peligro como el grupo de alta movilidad Box 1 (HMGB1). La activación de las citoquinas puede ser la base de la hiperexcitabilidad y la neuro-

toxicidad, situación que facilita la descarga epiléptica [88,89].

Concerniente a este problema, se ha descrito que la IL-1 β inducida en astrocitos activados y microglía contribuye a la aparición de actividad convulsiva [90, 91].

IL-1 β y TNF producen efectos excitadores por aumento del influjo de Ca²⁺ y niveles extracelulares de glutamato con una posterior producción de radicales hidroxilos. El TNF también modifica la composición de subunidades del receptor de glutamato en las neuronas y aumenta la liberación de glutamato desde la microglía. En los astrocitos, el TNF aumenta la movilización de Ca²⁺ con la activación subsecuente de la enzima ciclooxigenasa-2 (COX-2) que induce la expresión de la glicoproteína P-gp responsable del fenotipo de resistencia a múltiples drogas (MDR), síntesis de prostaglandina-2 y liberación de glutamato [92, 93].

El estrés oxidativo es una condición que se detecta durante la epileptogénesis y la epilepsia crónica. Es una consecuencia de disfunción mitocondrial y aumento de la actividad de la nicotinamida adenina dinucleótido fosfato oxidasa (NOX), xantina oxidasa y la isoforma inducible de la óxido nítrico sintasa (iNOS) que dan

como resultado la producción de especies reactivas de oxígeno (ROS) y especies reactivas de nitrógeno (RNS). El estrés oxidativo facilita la inflamación mediante la inducción de la expresión del gen COX-2 y citoquinas ietogénicas [93, 94]. La alta liberación de glutamato y la activación del receptor NMDA en la epilepsia crónica también pueden facilitar los mecanismos oxidativos y la neurotoxicidad [95-102].

EL CANNABIDIOL PUEDE ACTUAR SOBRE OBJETIVOS CENTRALES Y PERIFÉRICOS NO CONVENCIONALES PARA CONTROLAR LA EPILEPSIA RESISTENTE A DROGAS

La glicoproteína P (P-gp), es un transportador de eflujo presente en la barrera hematoencefálica (BHE) que limita el acceso y acumulación del fármaco en el cerebro. Su sobreexpresión en la cara luminal de las células endoteliales de la BHE se asocia con ER dando como resultado una disminución de penetración de los fármacos anticonvulsivos en el cerebro [103, 104]. La sobre-expresión de P-gp también ha sido determinada en astrocitos y neuronas del tejido cerebral, ya sea obtenidos de pacientes o animales con ER [105,106].

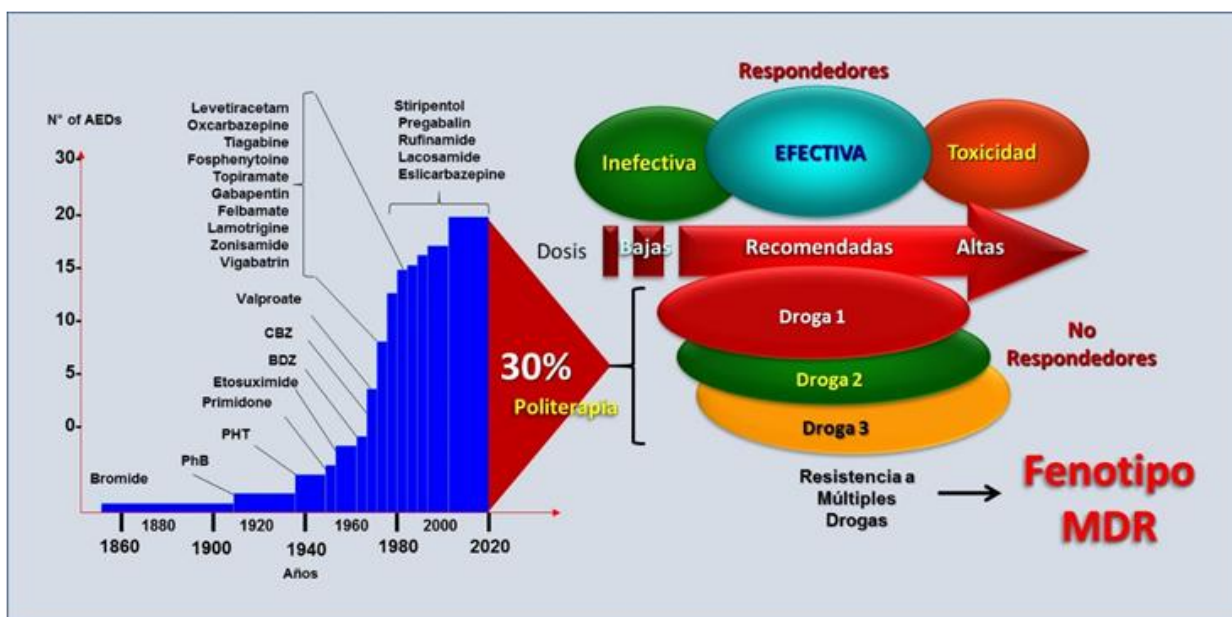


Figura.1: A pesar del amplio desarrollo de diferentes fármacos anticonvulsivantes, desde los bromuros (1860), hasta la actualidad, el porcentaje de pacientes (no respondedores), que desarrollan un fenotipo fármacorresistente a distintas estrategias terapéuticas de múltiples combinaciones de drogas, sigue siendo históricamente el mismo (~30%). Uno de los mecanismos más relevantes que explican este fenotipo de resistencia a múltiples drogas (MDR), es la sobreexpresión de la glicoproteína P (P-gp), capaz de expulsar un muy amplio espectro de compuestos fuera de las células P-gp positivas, y del cerebro, a través de la barrera hematoencefálica donde se encuentra altamente expresada.

Los altos niveles extracelulares de glutamato producidos en el cerebro de sujetos con ER [107] representan un mecanismo que facilita la sobreexpresión de la P-gp mediante la activación de COX-2 (como vía proinflamatoria) [108] y HIF-1 α (como vía hipoxiante) [109].

La sobreexpresión de la P-gp en las células de la BHE también puede ser generada por estrés oxidativo crónico o neuroinflamación prolongada [110]. Según varias evidencias experimentales, la administración de inhibidores de su función de bombeo o directamente de su expresión proteica representa una estrategia terapéutica potencial para controlar la epilepsia fármacorresistente [81, 111]. En

este sentido el uso de celecoxib, un inhibidor específico de la COX-2, revierte la sobreexpresión de P-gp y facilita el acceso cerebral de fármacos anticonvulsivos [112].

La administración de inhibidores de la P-gp como el verapamilo, induce efectos alentadores en pacientes con epilepsia fármacorresistente. Sin embargo, estos medicamentos pueden inducir efectos secundarios importantes que restringen su aplicación clínica [113]. La evidencia experimental también respalda que podría obtenerse un mejor control de la ER si los medicamentos anticonvulsivos se asocian con inhibidores de P-gp [111, 114, 115].

Diversos estudios indican que el CBD regula a la baja la expresión de proteínas y el ARNm de P-gp e inhibe su función de bombeo en diferentes líneas celulares [116]. El CBD también interactúa con un sitio específico de la P-gp que interfiere con la actividad de la ATPasa estimulada por los sustratos y, en consecuencia, disminuye la energía requerida para su transporte en las células Caco-2 y LLC-PK1 / MDR1 [117-119].

En este sentido, nuestro grupo pudo demostrar que CBD es capaz de inhibir el transporte de Rho-123 mediado por P-gp, en células cerebrales cultivadas y sometidas a excitotoxicidad por glutamato, y que la P-gp cuenta

con dos sitios de unión específicos para CBD [120]

Finalmente debemos destacar recientes hallazgos (*in vitro* de nuestro laboratorio mostrando que el CBD provoca serias alteraciones funcionales, morfológicas y de viabilidad en los PMN neutrófilos [121] como así también induce severa deformabilidad, y generación y liberación de microvesículas en los eritrocitos (datos no publicados).

CONCLUSIONES

En la era moderna de la medicina de precisión con terapias específicas y altamente efectivas blanco-dirigidas, los esfuerzos deben centrarse en identificar la composición real de los extractos de fitocannabinoides utilizados y conocer sus múltiples mecanismos de acción.

En cuanto al CBD, es evidente que induce efectos terapéuticos que se pueden aplicar para controlar la resistencia a los medicamentos en las epilepsias refractarias. Sin embargo, es necesario identificar los tipos de epilepsias refractarias potencialmente accionables por los CBD. Además, es fundamental conocer su farmacocinética, sus efectos secundarios así como sus efectos celulares y moleculares inducidos por su administración repetitiva y prolongada, y sea administrado solo o asociados a los fármacos anticonvulsivos. Otro tema importante a considerar es la

evaluación de objetivos y mecanismos de acción no convencionales del CBD y otros cannabinoides para controlar la epilepsia fármacorresistente (como su acción inhibitoria de P-gp y otros transportadores) y reducir las complicaciones fatales como SUDEP. Varios estudios apoyan que el CBD disminuye la expresión y función de la P-gp en diferentes tipos de células. Si el CBD es capaz de disminuir la sobreexpresión de este transportador en el cerebro de pacientes con epilepsia fármacorresistente, podría usarse como terapia complementaria para mejorar la biodistribución y el acceso al SNC de los fármacos anticonvulsivos. Finalmente, una validación científica de las propiedades antiepilépticas de los diferentes cannabinoides y sus metabolitos, así como de los terpenos (solos y en combinación) beneficiaría en el control de diferentes tipos de epilepsia. Esta validación debe considerar el trasfondo genético para comprender la respuesta a los cannabinoides.

REFERENCIAS

[1] RS Fisher, C Acevedo, A Arzimanoglou, A Bogacz, JH Cross, CE Elger, J Engel Jr, L Forsgren, JA French, M Glynn, DC Hesdorffer, BI Lee, GW Mathern, SL Moshé, E Perucca, IE Scheffer, T Tomson, M Watanabe, S Wiebe, *Epilepsia*, 2014, 55, 475–482.

[2] GBD 2015 Neurological Disorders Collaborator Group. Global, regional, and national burden of neurological disorders during 1990–2015: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study, 2015. *Lancet Neurol.* 2017, 16, 877–897.

[3] P Ryvlin, L Nashef, T Tomson, *Epilepsia*. 2013, 54(Suppl 2), 23–28.

[4] T Granata, N Marchi, E Carlton, C Ghosh, J Gonzalez-Martinez, Alexopoulos AV, D Janigro, *Expert Rev Neurother.* 2009; 9, 1791–1802.

[5] D Friedman, JI Sirven, *Epilepsy Behav.* 1980s, 70, 298–301.

[6] GB Chesher, DM Jackson, RM Malor, *J Pharm Pharmacol*, 1975, 27, 608–609.

[7] I Izquierdo, OA Orsingher, AC Berardi, *Psychopharmacologia*. 1973, 28, 95–102.

[8] P Consroe, MA Benedito, JR Leite, EA Carlini, R Mechoulam, *Eur J Pharmacol.* 1982, 83, 293–298.

[9] M Ten Ham, WJ Loskota, P Lomax, *Eur J Pharmacol.* 1975, 31, 148–152.

[10] R Karler, SA Turkanis, *Adv Biosci.* 1978, 22–23, 619–641.

[11] WO Boggan, RA Steele, DX Freedman, *Psychopharmacologia*, 1973, 29, 101–6.

- [12] ME Corcoran, JA McCaughran, JA Wada, *Exp Neurol.* 1973, 40, 471–483.
- [13] SA Turkanis, KA Smiley, HK Borys, DM Olsen, R Karler, *Epilepsia.* 1979, 20, 351–263.
- [14] BK Colasanti, C Lindamood, CR Craig, *Pharmacol Biochem Behav.* 1982, 16, 573–578.
- [15] M Neale, *Nurs Child Young People.* 2017, 29, 32–37.
- [16] EC Rosenberg, PH Patra, BJ Whalley. *Epilepsy Behav.* 2017, 70, 319–327.
- [17] DI Abrams, *Engineering and Medicine report. Eur J Intern Med.* 2018, 49, 47–11.
- [18] CJ Lucas, P Galettis, J Schneider, *Br J Clin Pharmacol.* 2018, 84, 2477–2482.
- [19] AK Birnbaum, A Karanam, SE Marino, CM Barkley, RP Rimmel, M Roslawski, M Gramling-Aden, IE Leppik, *Epilepsia.* 2019, 60, 1586–1592.
- [20] GD Anderson, LN Chan, *Clin Pharmacokinet.* 2016, 55, 1353–1368.
- [21] F Pollastro, A Minassi, LG Fresu, *Curr Med Chem.* 2018, 25, 1160–1185.
- [22] D Gloss, *Neurotherapeutics.* 2015, 12, 731–734.
- [23] JM McPartland, *Cannabis Cannabinoid Res.* 2018, 3, 203–212.
- [24] EB Russo, *Front Pharmacol.* 2016, 7, 309.
- [25] D Sulak, R Saneto, B Goldstein, *Epilepsy Behav.* 2017, 70, 328–333.
- [26] ND Volkow, RD Baler, WM Compton, SRB Weiss, *N Engl J Med.* 2014, 370, 2219–2227.
- [27] TE Gaston, D Friedman, *Epilepsy Behav.* 2017, 70, 313–318.
- [28] AJ Hill, MS Mercier, TDM Hill, SE Glyn, NA Jones, Y Yamasaki, T Futamura, M Duncan, CG Stott, GJ Stephens, CM Williams, BJ Whalley, *Br J Pharmacol.* 2012, 167, 1629–1642.
- [29] S Rosales-Corral, L Hernández, M Gallegos, *Pharm Anal Acta.* 2015, 6, 346, <https://doi.org/10.4172/2153-2435.1000346>
- [30] V Wolff, AI Schlagowski, O Rouyer, AL Charles, F Singh, C Auger, V Schini – Kerth , C Marescaux , JS Raul , J Zoll , B Geny , *Biomed Res Int.* 2015, Article ID 323706, 7 pages <http://dx.doi.org/10.1155/2015/323706>.
- [31] F Palazzoli, C Citti, M Licata, A Vilella, L Manca, M Zoli, MA Vandelli, F. Forni, G. Cannazza, *J Pharm Biomed Anal.* 2018, 150, 25–32.
- [32] JL Croxford, *CNS Drugs.* 2003, 17, 179–202.
- [33] J Fernández-Ruiz, O Sagredo, MR Pazos, C García, R Pertwee, R Mechoulam, JM Orgado. *Br J Clin Pharmacol.* 2013, 75, 323–33.
- [34] DJ Harvey, R Mechoulam, *Xenobiotica.* 1990, 20, 303–320.
- [35] R Jiang, S Yamaori, S Takeda, I Yamamoto, K Watanabe, *Life Sci.* 2011, 89, 165–170.
- [36] I Ujváry, L Hanuš, *Cannabis Cannabinoid Res.* 2016, 1, 90–101.
- [37] A Mazur, CF Lichti, PL Prather, AK Zielinska, SM Bratton, A Gallus-Zawada, M Finel, GP. Miller, A Radomińska-Pandya, JH. Moran, *Drug Metab Dispos.* 2009, 37, 1496–1504.
- [38] DJ Harvey, E Samara, R Mechoulam, *J Chromatogr.* 1991, 562, 299–322.
- [39] O Devinsky, AD Patel, EA Thiele, MH Wong, R Appleton, CL Harden, S Greenwood , G Morrison, K Sommerville, *Neurology.* 2018, 90, (e)1204–(e)1211.
- [40] BJ Whalley, C Stott, RA Gray, NA Jones, The human metabolite of cannabidiol, 7-hydroxy cannabidiol, but not 7-carboxy cannabidiol, is anticonvulsant in the maximal electroshock seizure threshold test (MEST) in mouse. *American Epilepsy Society Meeting. Abstract 1.435.* 2017, p 1.
- [41] TE Gaston, EM Bebin, GR Cutter, Y Liu, JP Szaflarski, *Epilepsia.* 2017, 58, 1586–1592.
- [42] AL Geffrey, SF Pollack, PL Bruno, EA Thiele, *Epilepsia.* 2015, 56, 1246–1251
- [43] MW Elmes, M Kaczocha, WT Berger, K Leung, BP Ralph, L

- Wang, J. Sweeney, JM, Miyauchi, SE Tsirka, I Ojima, DG Deutsch, J Biol Chem, 2015, 290, 8711–8721.
- [44] T Nadulski, F Pragst, G Weinberg, P Roser, M Schnelle, EM Fronk, AM Stadelmann, Ther Drug Monit, 2005, 27, 799–810.
- [45] Cunha JM, Carlini EA, Pereira AE, Ramos OL, Pimentel C, Gagliardi R, WL Sanvito, N Lander, R Mechoulam, Pharmacology, 1980, 21, 175–185.
- [46] D Friedman, O Devinsky, N Engl J Med, 2015, 373, 1048–1058.
- [47] NA Jones, SE Glyn, S Akiyama, TDM Hill, AJ Hill, SE Weston, MDA Burnett, Y Yamasaki, GJ Stephens, BJ Whalley, CM Williams, Seizure, 2012, 21, 344–352.
- [48] LR Vilela, IV Lima, ÉB Kunsch, HPP Pinto, AS de Miranda, Vieira ÉLM, ACP de Oliveira, MFD Moraes, AL Teixeira, FA Moreira, Epilepsy Behav, 2017, 75, 29–35.
- [49] PH Patra, M Barker-Haliski, HS White, BJ Whalley, S Glyn, H Sandhu, N Jones, M Bazelot, CM Williams, AJ McNeish, Epilepsia, 2019, 60, 303–314.
- [50] RA Do Val-da Silva, JE Peixoto-Santos, L Kandratavicius, JB De Ross, I Esteves, BS De Martinis, MNR Alves, RC Scandiuizzi, JEC Hallak, AW Zuardi, JA Crippa and JP Leite, Front Pharmacol. 2017, 8, 131.
- [51] M Hosseinzadeh, S Nikseresht, F Khodaghali, N Maghsoudi, J Mol Neurosci, 2016, 58, 432–440.
- [52] EA Thiele, ED Marsh, JA French, M Mazurkiewicz-Beldzinska, SR Benbadis, C Joshi, P. Lyons, A. Taylor, C. Roberts, K. Sommerville, Lancet (London, England). 2018, 391,1085–1096.
- [53] O Devinsky, R Nabbut, I Miller, L Laux, M Zolnowska, S Wright, C Roberts, Epilepsia, 2019, 60, 294–302.
- [54] SA Hussain, DJ Dlugos, MR Cilio, NA Parikh, AES Annual Meeting, 2017, p Abst. 3.278.
- [55] FDA approves first drug comprised of an active ingredient derived from marijuana to treat rare, severe forms of epilepsy. FDA News Release. 2018. Available from: <https://www.fda.gov/newsevents/newsroom/pressannouncements/ucm611046.htm> (accessed 15 Jul 2019).
- [56] JA Crippa, FS Guimarães, AC Campos, AW Zuardi, Front Immunol, 2018, 9, 2009.
- [57] S Nakahara, M Adachi, H Ito, M Matsumoto, K Tajinda, TGM van Erp, Neurosci J, 2018, Article ID 4852359, 2018. <https://doi.org/10.1155/2018/4852359>, 1–9.
- [58] AA Khan, T Shekh-Ahmad, A Khalil, MC Walker, AB Ali, Br J Pharmacol, 2018, 175, 2097–2115.
- [59] D Gloss, B Vickrey. Cochrane Database Syst Rev, 2014, 3:CD009270. <https://doi.org/10.1002/14651858>
- [60] EC Rosenberg, RW Tsien, BJ Whalley, O Devinsky, Neurotherapeutics. 2015, 12, 747–768.
- [61] O Devinsky, C Verducci, EA Thiele, LC Laux, AD Patel, F Filloux, JP Szaflarsk, Epilepsy Behav, 2018, 86, 131–137.
- [62] M Tzadok, S Uliel-Siboni, I Linder, U Kramer, O Epstein, S Menascu, A Nissenkorn, O Bar Yosef, E Hyman, D. Granot, M Dor, T Lerman-Sagie, B Ben-Zeev, Seizure. 2016, 35, 41–44.
- [63] FA Pamplona, LR da Silva, AC Coan. Front Neurol, 2018, 9, 759.
- [64] KM King, AM Myers, AJ Soroka-Monzo, RF Tuma, RJ Tallarida, EA Walker, SJ Ward, Br J Pharmacol, 2017, 174, 2832–2841.
- [65] IG Karniol, EA Carlini, Psychopharmacologia, 1973, 33, 53–70.
- [66] Pertwee RG. The diverse CB1 and CB2 receptor pharmacology of three plant cannabinoids: Δ^9 -tetrahydrocannabinol, cannabidiol, and Δ^9 -tetra-hydrocannabinol. Br J Pharmacol. 2008;153:199–215.

- [67] P Seeman, *Transl Psychiatry*, 2016, 6, e920.
- [68] EB Russo, A Burnett, B Hall, KK Parker, *Neurochem Res*, 2005, 30, 1037–1043.
- [69] K Mishima, K Hayakawa, K Abe, T Ikeda, N Egashira, K Iwasaki, M. Fujiwara, *Stroke*, 2005, 36, 1077–1082.
- [70] RA Pumroy, A Samanta, Y Liu, TET Hughes, S Zhao, Y Yudin, T Rohacs, S Han, VY Moiseenkova-Bell, *Elife*, 2019, 8, 48792.
- [71] M Kathmann, K Flau, A Redmer, C Tränkle, E Schlicker, Naunyn Schmiedeberg's Arch Pharmacol, 2006, 372, 354–361.
- [72] M-R Ghovanloo, NG Shuart, J Mezeyova, RA Dean, PC Ruben, SJ Goodchild, *J Biol Chem*, 2018, 293, 16546–16558.
- [73] A Castillo, MR Tolón, J Fernández-Ruiz, J Romero, J Martínez-Orgado, *Neurobiol Dis*, 2010, 37, 434–440.
- [74] B Costa, G Giagnoni, C Franke, AE Trovato, M Colleoni, *Br J Pharmacol*, 2004, 143, 247–250.
- [75] SJ Ward, SD McAllister, R Kawamura, R Murase, H Neelakantan, EA Walker, *Br J Pharmacol*. 2014, 171. 636–645.
- [76] WH Hind, TJ England, SE O'Sullivan, *Br J Pharmacol*, 2016, 173, 815–25.
- [77] AC Campos, FS Guimarães, *Psychopharmacology*, 2008, 199, 223–230.
- [78] R Linge, L Jiménez-Sánchez, L Campa, F Pilar-Cuéllar, R Vidal, A Pazos, A Adell, Á Díaz, *Neuropharmacology*. 2016, 103,16–26.
- [79] M Rodríguez-Muñoz, Y. Onetti, E Cortés-Montero, J. Garzón, P Sánchez-Blázquez, *Mol Brain*, 2018, 11, 51.
- [80] PH Gobira, LR Vilela, BDC Gonçalves, RPM Santos, AC de Oliveira, LB Vieira, DC Aguiar, JA Crippa, FA Moreira, *Neurotoxicology*, 2015, 50, 116–121.
- [81] JP Bankstahl, K Hoffmann, K Bethmann, W Löscher, *Neuropharmacology*, 2008, 54, 1006–1016.
- [82] CG Parsons, A Stöffler, W Danysz, *Neuropharmacology*, 2007, 53, 699–723.
- [83] M Ghasemi, SC Schachter, *Epilepsy Behav*, 2011, 22, 617-640.
- [84] J López, ME González, L Lorigados, L Morales, G Riverón, JY Bauzá, *Clin Biochem*, 2007, 40, 292–298.
- [85] Lorigados Pedre L, Gallardo JM, Morales Chacón LM, Vega García A, Flores-Mendoza M, Neri-Gómez T, B Estupiñán Díaz, RM Cruz-Xenes, N Pavón Fuentes, S Orozco-Suárez, *Behav Sci (Basel, Switzerland)*, 2018, 8, 59, doi: 10.3390/bs8060059.
- [86] L Lorigados Pedre, LM Morales N Chacón, Pavón Fuentes, M Robinson Agramonte, T Serrano Sánchez, R Cruz-Xenes, ML Díaz Hung, B Estupiñán Díaz, MM Báez Martín, S Orozco-Suárez, *Behav Sci (Basel, Switzerland)*, 2018, 8, 21, doi: 10.3390/bs8020021
- [87] A Merelli, M Repetto, A Lazarowski, J Auzmendi, J Alzheimers Dis, 2021, 82s1, S109-S126,
- [88] K Riazi, MA Galic, QJ Pittman, *Epilepsy Res*, 2010, 89, 34–42.
- [89] L Lorigados Pedre, LM Morales Chacón, S Orozco Suárez, N Pavón Fuentes, B Estupiñán Díaz, T Serrano Sánchez, I García Maeso, L Rocha Arrieta, *Curr Pharm Des*, 2013, 19, 6766–6772.
- [90] Akin D, Ravizza T, Maroso M, Carcak N, Eryigit T, Vanzulli I, Rezzan Gülhan Aker, A Vezzani, FY Onat, *Neurobiol Dis*, 2011, 44, 259-269.
- [91] A Vezzani, T Ravizza, S Balosso, E Aronica, *Epilepsia*, 2008, 49(Suppl 2), 24-32.
- [92] A Vezzani, B Viviani, *Neuropharmacology*, 2015, 96, 70-82.
- [93] G Terrone, S Balosso, A Pauletti, T Ravizza, A Vezzani, *Neuropharmacology*. 2019, 107742. [Epub ahead of print]. <https://doi.org/10.1016/j.neuropharm.2019.107742>.
- [94] L Feng, Y Xia, GE Garcia, CB Wilson, *J Clin Invest*, 1995, 95, 1669-1675.

- [95] B Küçükkaya, G Haklar, AS Yalçın, *Neurochem Res*, 1996, 21, 1535-1538.
- [96] CA Shaw, JS Bains, *Cell Mol Biol (Noisy-le-grand)*, 2002, 48, 127-136.
- [97] A Vallée, Y Lecarpentier, R Guillevin, J-N Vallée, *Acta Biochim Biophys Sin (Shanghai)*, 2017, 49, 853-866.
- [98] S Hassan, K Eldeeb, PJ Millns, AJ Bennett, SPH Alexander, DA Kendall, *Br J Pharmacol*, 2014, 171, 2426-2439.
- [99] B Costa, AE Trovato, F Comelli, G Giagnoni, M Colleoni, *Eur J Pharmacol*, 2007, 556, 75-83.
- [100] LR Ruhaak, J Felth, PC Karlsson, JJ Rafter, R Verpoorte, L Bohlin, *Biol Pharm Bull*, 2011, 34, 774-778.
- [101] M Ceprián, L Jiménez-Sánchez, C Vargas, L Barata, W Hind, J Martínez-Orgado, *Neuropharmacology*, 2017, 116, 151-159.
- [102] PWF Karmaus, JG Wagner, JR Harkema, NE Kaminski, BLF Kaplan, *J Immunotoxicol*, 2013, 10, 321-328.
- [103] F Tang, AMS Hartz, B Bauer, *Front Neurol*, 2017, 8, 301.
- [104] C Höcht, A Lazarowski, NN Gonzalez, J Auzmendi, JAW Opezzo, GF Bramuglia, Carlos A Taira, Elena Girardi, *Neurosci Lett*, 2007, 413, 168-172.
- [105] A Lazarowski, AJ Ramos, H Garcia-Rivello, A Brusco, E Girardi, *Cell Mol Neurobiol*, 2004, 24, 77-85.
- [106] Marchi N, Hallene KL, Kight KM, Cucullo L, Moddel G, Bingaman W, *et al.* Significance of MDR1 and multiple drug resistance in refractory human epileptic brain. *BMC Med.* 2004; 2:37.
- [107] MJ During, DD Spencer, *Lancet (London, England)*, 1993, 341, 1607-1610.
- [108] B Bauer, AMS Hartz, A Pekcec, K Toellner, DS Miller, H Potschka, *Mol Pharmacol*, 2008, 73, 1444-1453.
- [109] A Merelli, AJ Ramos, A Lazarowski, J Auzmendi, *Front Neurosci*, 2019, 13, 750
- [110] DJ Roberts, KB Goralski. *Expert Opin Drug Metab Toxicol*, 2008, 4, 1245-1264.
- [111] RW Robey, A Lazarowski, SE Bates, *Mol Pharmacol*, 2008, 73, 1343-1346.
- [112] EA van Vliet, G Zibell, A Pekcec, J Schlichtiger, PM Edelbroek, L Holtman, E Aronica, JA Gorter, H Potschka, *Neuropharmacology*, 2010, 58, 404-412.
- [113] F Nicita, A Spalice, U Raucci, P Iannetti, P Parisi, *Expert Rev Neurother*, 2016, 16, 9-15.
- [114] A Lazarowski, L Czornyj, F Lubienieki, E Girardi, S Vazquez, C D'Giano, *Epilepsia*, 2007, 48(Suppl 5), 140-149.
- [115] J Narayanan, R Frech, S Walters, V Patel, R Frigerio, DM Maraganore, *Epilepsy Res*, 2016, 126, 197-200.
- [116] V Feinshtein, O Erez, Z Ben-Zvi, N Erez, T Eshkoli, B Sheizaf, E Sheiner, M Huleiheland, G Holcberg, Peer J, 2013, 1, e153.
- [117] H-J Zhu, J-S Wang, JS Markowitz, JL Donovan, BB Gibson, HA Gefroh, CL Devane, *J Pharmacol Exp Ther*, 2006, 317, 850-857.
- [118] ML Holland, JA Panetta, JM Hoskins, M Bebawy, BD Roufogalis, JD Allen, JC Arnold, *Biochem Pharmacol*, 2006, 71, 1146-1154.
- [119] N Brzozowska, KM Li, XS Wang, J Booth, J Stuart, IS McGregor, JC Arnold, *PeerJ*, 2016, 4, e2081
- [120] J Auzmendi, P Palestro, A Blachman, L Gavernet, A Merelli, A Talevi, GC Calabrese, AJ Ramos, A Lazarowski, *Front Behav Neurosci*, 2020, 17, 14-32.
- [121] CT Gómez, F Lairion, M Repetto, M Ettcheto, A Merelli, A Lazarowski, J Auzmendi, *Pharmaceuticals (Basel)*, 2021, 14, 220.

Importancia de la Presencia de los Biofilms Microbianos para las Industrias Química y Alimentaria y para la Salud

Cecilia Figoli¹, Beltina León¹, Peter Lasch², Osvaldo Yantorno¹ y Alejandra Bosch^{1*}

RESUMEN

La formación de biofilms representa el estilo de vida microbiano predominante en la mayoría de los ambientes naturales y artificiales. Esta forma de crecimiento como biopelículas es evolutivamente ventajosa ya que proporciona a los integrantes del consorcio estabilidad en un ambiente fluctuante y, fundamentalmente, protección contra una variedad de condiciones estresantes del entorno incluidas: deshidratación, salinidad, toxicidad de los metales, shear hidrodinámico, acidez, fagocitosis y los distintos agentes antimicrobianos. Esta revisión describe los eventos secuenciales involucrados en la formación de biofilms microbianos y los componentes que pueden estar presentes en la matriz extracelular. Se debe tener presente que no existe una estructura de biofilm estándar, sino que la misma dependerá de los tipos de microorganismos que la constituyen y de sus interacciones con las condiciones fisicoquímicas y mecánicas del microambiente, lo que se traduce en la complejidad del estudio de las mismas. Se describen efectos nocivos de los biofilms en la industria química donde la corrosión y el taponamiento de cañerías siguen siendo temáticas críticas; el efecto sobre cascos de barcos, en la industria alimentaria y en salud pública en particular centrado en procesos infecciosos. Asimismo, se hace hincapié en el rol beneficioso que desempeñan los biofilms en la biorremediación, en el control de la corrosión microbiana y en la industria alimentaria. Finalmente hacemos una breve descripción de distintas metodologías analíticas que se están empleando para el estudio y análisis de biofilms, a fin de entender el comportamiento dinámico de estos consorcios en tiempo real.

INTRODUCCION

Las bacterias han sido tradicionalmente consideradas e

1 Centro de Investigación y Desarrollo en Fermentaciones Industriales (CINDEFI, CONICET, CCT-La Plata), Facultad de Ciencias Exactas,

incluso presentadas en el mundo académico, como organismos

Universidad Nacional de La Plata, Calle 50 No 227, La Plata, Argentina.

2 Robert Koch-Institute, ZBS6 – Proteomics and Spectroscopy, Seestraße 10, Berlin, D-13353, Germany.

* E-mail Alejandra Bosch: bosch@quimica.unlp.edu.ar

independientes que podían “nadar” libremente en medios líquidos, sin interactuar entre sí, lo cual fue llamado el modo de vida planctónico. Sin embargo, trabajos reportados hacia finales del siglo pasado pusieron de manifiesto que la mayoría de las células microbianas, tienden a vivir organizadas en comuni-

dades, adheridas a superficies más que en forma planctónica. En este sentido observaciones microscópicas de organismos en la naturaleza y presentes en procesos infecciosos particularmente los crónicos, han revelado que las bacterias se encuentran en distintos nichos, físicamente agregadas y organizadas en clusters adheridos a superficies bióticas o abióticas, rodeadas por matrices poliméricas que ellas mismas producen, una forma de vida conocida como biofilms, los cuales están constituidos por células denominadas sésiles [1, 2]. En relación a la composición microbiana, un biofilm puede estar constituido por una única especie microbiana o, como en la mayoría de las formaciones en la naturaleza, por una combinación de diferentes especies de bacterias, levaduras, hongos, protozoos, arqueas y/o algas. En este sentido se ha reportado que entre el 40 y el 80 % de las bacterias exhiben capacidad de formar biofilms [3]. Si este es el caso, la pregunta que surge es: ¿Por qué este modo de vida es tan apropiado o atractivo para las bacterias? [4]. Se ha comprobado que la formación de biofilms o biopelículas ocurre espontáneamente tanto en ambientes naturales como industriales, solo se requiere que haya microorganismos, superficies, nutrientes y agua. La formación de estos aglomerados resulta en una estructura fuerte y dinámica que les proporciona a las células

sésiles que la integran una amplia variedad de ventajas. Estas incluyen mayor capacidad para crecer en ambientes limitados en nutrientes, acceso a recursos nutricionales, mejor tolerancia a biocidas y desinfectantes, mayor interacción con otros organismos de la comunidad, mayor estabilidad frente al estrés ambiental como la deshidratación, mayor resistencia frente a los elementos de la respuesta inmune del hospedador y adaptación a esfuerzos de corte (shear) por modificación de propiedades mecánicas de la matriz [5, 6]. Es por todo ello que se dice que los biofilms son formas de vida microbiana en la que una o múltiples especies de organismos forman comunidades densamente pobladas, encerradas en una matriz de exopolímeros secretados por ellos u otros organismos, que les permite tolerar condiciones estresantes del entorno por largos períodos de tiempo.

DESARROLLO Y FORMACIÓN DE BIOFILMS

La formación de biofilms en condiciones naturales resulta un proceso complejo, dinámico, finamente regulado e influenciado por factores biológicos, químicos y físicos que no sigue un proceso único preestablecido. Sin embargo, de modo general se puede dividir en cinco etapas:

i) **Interacción reversible entre bacterias y una superficie.** Las bacterias se adsorben de manera

reversible y no específica a superficies, tanto bióticas como abióticas, mediante fuerzas como las de Van der Waals (50 nm), electrostáticas e hidrófobas tipo ácido-base de Lewis (10-20 nm).

ii) **Adhesión irreversible.** Se caracteriza por interacciones más fuertes y a menor distancia entre la superficie celular y el sustrato (5-1,5 nm). Esto aumenta la probabilidad del contacto físico entre los receptores de las células como adhesinas, flagelos y lipopolisacáridos microbianos y las superficies. Las células censan mecánicamente este aumento de fuerzas de adhesión a la superficie, lo cual da lugar a señales que inician la formación de agregados celulares.

iii) **Formación de microcolonias.** Tiene lugar la acumulación de un número importante de células lo cual permite el establecimiento de un "quorum" que da lugar a un aumento de concentración de moléculas señal célula-célula que llevan a la expresión de exopolímeros (EPS).

iv) **Desarrollo de un biofilm maduro.** Las células sésiles continúan liberando moléculas de señalización, lo que conduce a la formación de estructuras tridimensionales complejas constituidas por células embebidas en una matriz polimérica de composición compleja.

v) **Dispersión o desprendimiento.** Las células abandonan el biofilm para propagarse. Esto puede ocurrir a través del desprendimiento en grupos de

células junto con la matriz que las rodea, o mediante la siembra por dispersión donde algunas células del interior del biofilm pasan al estilo de vida planctónico, salen del biofilm y siembran nuevas superficies [7, 8].

La Figura 1 muestra una micrografía de un biofilm maduro de *Burkholderia contaminans* obtenida por microscopía electrónica de barrido (*Scanning Electron Microscopy* - SEM). La misma fue tomada en el Instituto Robert Koch (RKI) de Berlín, Alemania en el marco de un Programa de Cooperación Bilateral con el CINDEFI.

La formación de biofilms no se

superficies líquidas, creciendo como agregados sobre tejidos vivos animales, en superficies de vegetales y dispositivos médicos como catéteres, implantes y válvulas. Es importante resaltar que las actividades metabólicas de las células sésiles en los biofilms no son la resultante de la suma de sus constituyentes individuales en su estado planctónico, sino que estas células exhiben propiedades claramente diferentes a las células crecidas en medios líquidos. Un biofilm se caracteriza por ser una organización celular heterogénea y cambiante en tiempo y espacio, lo cual hace a

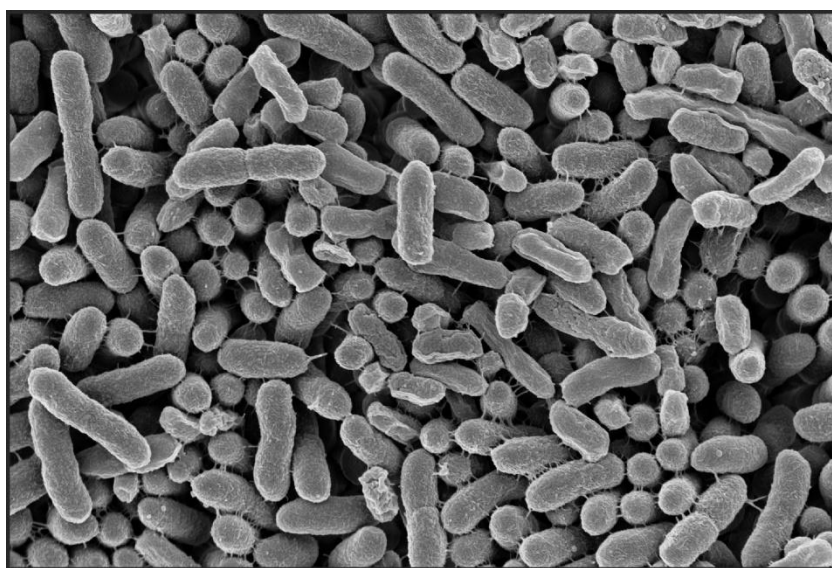


Figura 1. Micrografía electrónica de barrido de un biofilm maduro de 48 horas de *Burkholderia contaminans*.

limita solo a la colonización de sustratos sólidos como rocas, tanques de combustibles y tuberías industriales, también se los puede encontrar como una alfombra flotante sobre

la misma una estructura única, muy difícil de reproducir en condiciones experimentales de laboratorio [7].

CARACTERÍSTICAS DE LA MATRIZ DEL BIOFILM

Para concebir la vida en biofilm resulta crítico entender el rol de la matriz extracelular que rodea a las células proporcionando un ambiente apropiado para sobrevivir bajo diferentes condiciones de estrés. La matriz representa aproximadamente el 95 % de la masa del biofilm [6, 9]. Su principal función es la de mantener a las células sésiles unidas entre sí y adheridas al soporte. Esta proximidad entre células permite alcanzar un quorum de organismos rodeados de una alta concentración de moléculas de señalización química, logrando que los mecanismos de comunicación entre ellos sean más efectivos. La compleja composición de la matriz le otorga la capacidad de atraer compuestos de naturaleza tanto hidrofílica como hidrofóbica. Esta propiedad les permite a los biofilms atraer y concentrar iones y compuestos orgánicos disueltos en el fluido, por lo cual la matriz constituye para las células un reservorio de nutrientes. Además, las propiedades inmovilizantes de la matriz logran mantener las enzimas extra-celulares retenidas en el interior del biofilm cerca de las células, proporcionándoles a las mismas una mayor capacidad digestiva. Otras funciones incluyen facilitar la transferencia horizontal de genes. Este es el proceso por el cual las bacterias pueden pasar material genético lateralmente, de una célula

bacteriana a otra en lugar de a sus descendientes. La gran concentración de células que permanecen en la matriz aumenta la tasa de transformación o conjugación entre 10 y 600 veces respecto a las células libres [6]. También la matriz protege las células del biofilm de la desecación, los biocidas, los antimicrobianos, los metales pesados, la luz ultravioleta, los elementos de las respuestas inmunitarias del hospedador y los protozoarios [9].

La composición química y estructura de la matriz pueden variar considerablemente según los tipos de microorganismos, el esfuerzo cortante (shear hidrodinámico) donde se desarrolle el biofilm, la disponibilidad de

nutrientes, la superficie sobre la cual se desarrolla, y el entorno en general. Además, su organización espacial varía entre comunidades microbianas mono y multi-especies. Químicamente las matrices están constituidas principalmente por agua, la cual puede representar hasta el 97 % de su composición, por sustancias poliméricas, biomoléculas pequeñas, y otros componentes, englobados todos ellos en lo que se conoce hoy como “matrixoma” (Figura 2). Podemos clasificar a los componentes de la matriz como: i) los asociados con la superficie celular, ii) los secretados por las células y iii) los provenientes del ambiente. En el primer grupo se incluyen apéndices asociados a las células como flagelos, pili de

tipo IV y amiloides funcionales que modulan la adhesión bacteriana, la estabilidad mecánica de la matriz y las respuestas autoinmunes. El segundo grupo incluye exopolisacáridos que pueden ser de un solo tipo o de más de un tipo de polímero (1–2 %), proteínas (<1–2 %), ADN extracelular (eADN) (<1 %), ARN extracelular (eARN) (<1 %) y fosfolípidos liberados por las células, los cuales contribuyen al andamiaje y a la función de la matriz. El tercer tipo de componentes que pueden formar parte de la matriz incluye biomoléculas obtenidas del hospedador o del entorno circundante, y otros componentes como iones y moléculas resultantes de la lisis celular [9, 10] (Figura 2). Entre los com-

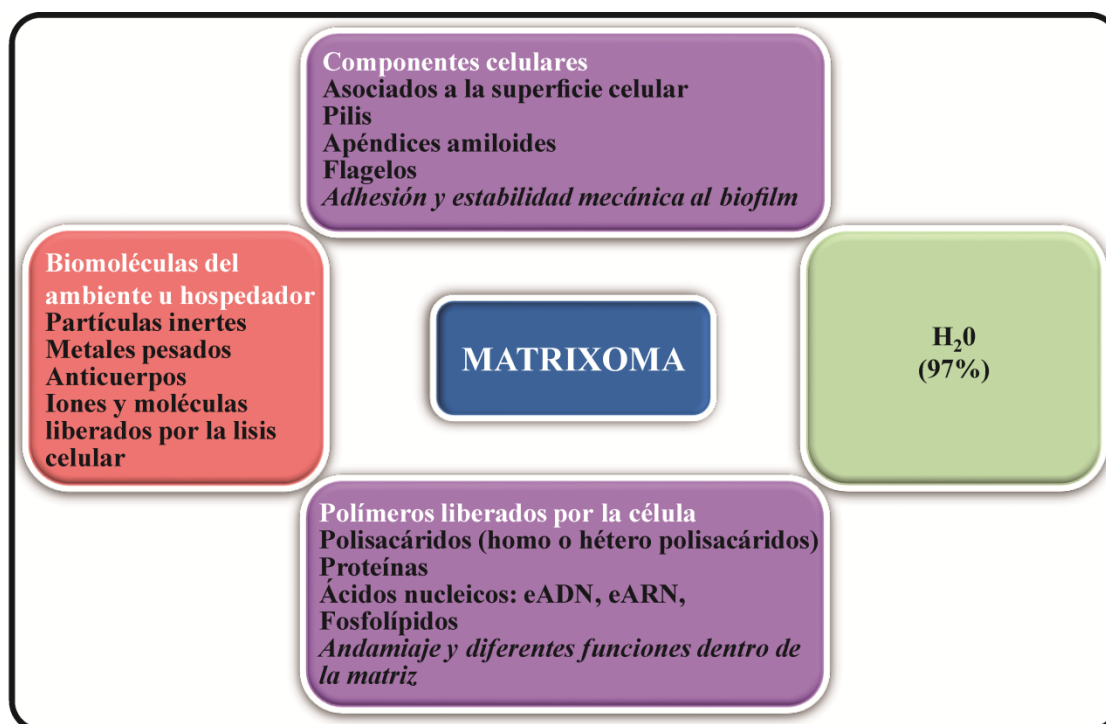


Figura 2. Esquema de la composición química de la matriz del biofilm (“matrixoma”).

ponentes principales de la matriz, el eADN cumple funciones como molécula estructural para la estabilidad del biofilm, como fuente de nutrientes y energía y como forma de transferencia horizontal de genes. Una vez formado un biofilm la compleja arquitectura del mismo incluirá una red de canales que permitirán el movimiento de agua y nutrientes, incluido el oxígeno, a los diferentes lugares de la biopelícula (Figura 2).

La interacción entre los distintos componentes químicos de la matriz extracelular es la que permite mantener la arquitectura de la biopelícula, estabilizándola mediante la formación de uniones intermoleculares, enlaces cruzados de cationes multivalentes y una red de biopolímeros, la cual, dada la variabilidad en su composición en el tiempo y el espacio, promueve actividades metabólicas heterogéneas de las

células dentro del biofilm. En relación a los microorganismos que conviven dentro de la matriz, en la mayoría de los casos se trata de una combinación de diferentes especies de bacterias, levaduras, hongos, protozoos, arqueas y/o algas con lo cual, la composición y características fisicoquímicas de las matrices dependerán de las particularidades de los integrantes de la comunidad y de la respuesta de la comunidad a las condiciones fisicoquímicas impuestas por el entorno [11]. La matriz extracelular representa, por lo tanto, una estructura extremadamente dinámica en su composición química que se remodela constantemente para adaptarse al entorno y las condiciones de vida de las células.

Los microorganismos pueden adherirse y formar biofilms en prácticamente todo tipo de superficies, tanto naturales como sintéticas [12]. Esto lleva a que puedan ocasionar efectos perjudiciales o benéficos en diferentes ámbitos. Entre los efectos perjudiciales se puede mencionar su capacidad de producir enfermedades crónicas e infecciones nosocomiales, así como también de recubrir y obturar tuberías industriales, de deteriorar y contaminar alimentos, de dañar piezas de arte y monumentos, lograr producir incrustaciones y afectar los cascos de los barcos (biofouling). Sin embargo, los biofilms también pueden resultar benéficos en distintos ámbitos, tales como en la industria alimentaria, en la agroindustria, a través del desarrollo de promotores del crecimiento vegetal o inhibidores de organismos patógenos, en el diseño

LOS BIOFILMS PUEDEN SER BENEFICIOSOS O PERJUDICIALES

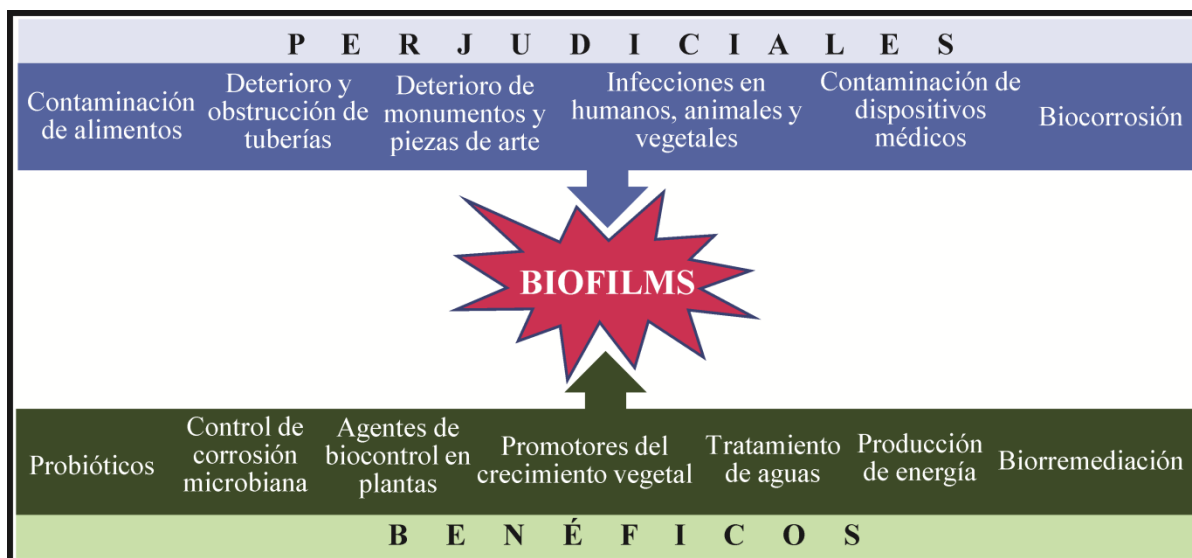


Figura 3. Aspectos benéficos y perjudiciales asociados a la presencia de biofilms microbianos.

de biocombustibles, en el tratamiento de aguas residuales, la limpieza de derrames de combustible e incluso en la generación de electricidad [13,14]. La lista de asociaciones entre biofilms e industrias se ha ido incrementando en los últimos años y, por lo tanto, no es de extrañar que estas comunidades bacterianas sean de gran interés desde una perspectiva económica entre otras [15] (Figura 3).

Entre las aplicaciones beneficiosas de los biofilms se puede citar su empleo en la limpieza de derrames de petróleo y combustibles. A partir del conocimiento que determinados microorganismos pueden emplear aceites y solventes como nutrientes, se ha avanzado en la aplicación biotecnológica de poblaciones microbianas normalmente presentes en suelos para llevar a cabo procesos denominados de biorremediación. Este es un término que se refiere al empleo de poblaciones microbianas mixtas en forma de biofilms que se pueden introducir en el área de un derrame de petróleo u otro combustible a fin de lograr degradar los contaminantes presentes en suelos [16]. La biorremediación también se ha empleado para limpiar aguas subterráneas y superficies contaminadas con distintos tipos de desechos peligrosos. En estos casos la formación de biofilm les permite a las células funcionar como verdaderos consorcios donde se dan actividades

concertadas entre sus miembros, las cuales se tratan todavía de esclarecer en investigaciones llevadas a cabo por distintos laboratorios. La biorremediación constituye una mejor opción que las que emplean remediaciones físicas y químicas tradicionales. La degradación de distintos productos es consecuencia de actividades metabólicas de microorganismos adaptados a tales contaminantes a los que por acción enzimática transforman en productos inocuos. En este sentido se puede resaltar el empleo de organismos como *Halobacterium salinarum* para formar biofilms sobre superficies de cristales de fenantreno a efectos de eliminar el contaminante. La biorremediación microbiana puede llevarse a cabo técnicamente de distintas formas, entre las cuales se puede mencionar la bioestimulación que es la resultante de la adición a suelos de poblaciones microbianas cultivadas en el laboratorio, para, de esta forma, potenciar el proceso natural de transformación en un sitio contaminado.

Otro empleo de biofilms con fines benéficos está relacionado con su aplicación en sistemas bioelectroquímicos [17]. Estos sistemas funcionan como celdas electroquímicas bajo principios de reactores biológicos, donde los electrodos constituyen las superficies para el desarrollo de biofilms formados por bacterias llamadas electro-activas. Estas bacterias tienen la capacidad de

transferir electrones al electrodo a partir de la oxidación de materia orgánica. Estos biorreactores funcionan, por lo tanto, como catalizadores que permiten transformar los desechos orgánicos en energía eléctrica. La adhesión bacteriana al electrodo, su colonización y la formación de biofilms tienen lugar en la superficie del ánodo (hemirreacción anódica). Los electrones liberados durante la oxidación fluyen hacia el cátodo a través de un circuito eléctrico generando corriente. A partir del conocimiento de las características electroquímicas de organismos tales como *Geobacter sulfur-reducens* se ha podido conectar directamente su cadena de transporte de electrones de cubierta externa a un electrodo polarizado, lo cual ha impulsado la aplicación de una amplia gama de técnicas electroquímicas para acoplar el metabolismo microbiano con las posibilidades de producción de energía.

Desde el punto de vista de acciones perjudiciales se ha demostrado la importancia de la formación de biofilms para industrias como la del petróleo, el gas y la minería, ya que su acumulación puede causar pérdidas económicas significativas, al ocasionar, entre otros problemas, el deterioro de equipos al inducir corrosión microbiológica o aumentar la resistencia al movimiento de fluidos [18]. La corrosión mediada por microorganismos conduce al

deterioro de materiales como el hierro, el acero, el hormigón y la piedra. Se ha reportado que el 40% de todas las fallas por corrosión interna en los oleoductos se debe a acción microbiana, lo que provoca enormes pérdidas financieras del orden de miles de millones de dólares. Aunque existen numerosos tipos de bacterias involucradas en la aceleración de la corrosión de materiales, las bacterias anaeróbicas reductoras de sulfato son las principales responsables. La corrosión también genera grandes problemas en sistemas de distribución de agua potable, industria médica, marina y de procesamiento de alimentos [19]. Factores químicos y biológicos pueden acelerar la velocidad de estos procesos. En el caso de la industria del papel la bioincrustación puede tener un efecto perjudicial sobre la calidad del producto final. Frente al problema de la corrosión microbiológica la industria química ha logrado importantes avances con el desarrollo de pinturas bactericidas/bacteriostáticas, revestimientos antiadherentes, agentes biocidas, protección catódica e inhibidores de corrosión [19]. Los biocidas con propiedades antimicrobianas se pueden inmovilizar en superficies de distintos materiales por adsorción física o unión química, logrando que las bacterias

mueran rápidamente por contacto directo con la pintura. Entre ellos, las sales de amonio cuaternario son los bactericidas orgánicos más utilizados. Se reportó también que las pinturas antimicrobianas además de su alta actividad muestran baja toxicidad para células de mamíferos, lo que constituye una buena ventaja médica en la prevención de infecciones por implantes. Se ha visto también que las actividades de los microorganismos en las superficies de materiales metálicos pueden inhibir o promover la corrosión. Más recientemente ha aumentado el interés mundial por el uso de biopelículas bacterianas beneficiosas para prevenir la corrosión debido a su efectividad, y el comportamiento rentable y amigable con la naturaleza [19]. Las potenciales estrategias anticorrosivas empleando biofilms pueden involucrar: (i) remoción de sustancias corrosivas como el oxígeno por bacterias aeróbicas a través de la respiración; (ii) inactivación de bacterias inductoras de corrosión como las bacterias reductoras de sulfato mediante compuestos antimicrobianos inhibidores secretados dentro de las biopelículas; (iii) producción de capas protectoras tales como poliglutamato mediante biopelículas; y (iv) la formación de biofilms que sirven como barrera de difusión para impedir la disolución de metales. Se ha

reportado que biofilms de *Bacillus brevis* reducen la corrosión de acero dulce al suprimir el crecimiento de bacterias reductoras de sulfatos como *Desulfosporosinus orientis* y de bacterias oxidantes de hierro como *Leptothrix discophora* SP-6. Además, se ha implementado el uso de compuestos antimicrobianos como indolicidina, bacteriocina y probactenecina producidos por biofilms de *Bacillus subtilis* modificados genéticamente, como agentes que permiten suprimir la corrosión del metal al inhibir el crecimiento especies de bacterias reductoras de sulfato. Aunque los biofilms aeróbicos y anaeróbicos pueden reducir la corrosión en las superficies de diferentes materiales, las biopelículas aeróbicas suprimen notablemente la corrosión del metal, lo que sugiere que el consumo local de oxígeno puede mejorar aún más la protección contra la corrosión. Se ha reportado el éxito de un enfoque anticorrosivo a través de biopelículas beneficiosas para acero inoxidable, acero al carbono, cobre y aluminio. El uso de biofilms microbianos para la prevención y el control de la corrosión es una línea de investigación relativamente nueva que merece una atención especial.

En las industrias alimentarias se reconoce que el deterioro de los alimentos depende de factores

como las condiciones de almacenamiento, los recuentos microbianos iniciales no deseados en los mismos y entre otras causas de las propiedades del alimento involucrado, como su pH o humedad. La formación de biofilms por organismos patógenos, dentro de las instalaciones de procesamiento, lleva al deterioro de alimentos y a poner en situación de riesgo la salud del consumidor. La contaminación microbiana en este sector requiere, entre otras medidas de control, de un estudio detallado de posibles métodos de desinfección. La búsqueda de estrategias para controlar organismos contaminantes es sumamente difícil y como se mencionó antes también en este caso estas industrias pueden utilizar la formación de biopelículas de algunas bacterias no patógenas como lactobacilos para tratar de inhibir el crecimiento de patógenos transmitidos por alimentos [20]. En esta línea de trabajo se han hecho grandes avances con el empleo de bacterias lácticas en centros de investigación de Argentina y del exterior.

En relación a los biofilms en salud pública es sabido que su incidencia en las infecciones humanas aumenta anualmente y

su impacto en la salud ha sido en general subestimado. Se ha reportado que biofilms bacterianos y fúngicos son responsables de más del 60 % de las infecciones. Las enfermedades relacionadas con biofilms pueden ser ocasionadas por la adhesión de microorganismos a superficies abióticas como dispositivos médicos (catéteres, implantes, válvulas), o a superficies bióticas como los tejidos o mucosas produciendo en ambos casos infecciones crónicas. Las infecciones asociadas a biofilms presentan tres propiedades distintivas: son sumamente persistentes (recalcitrantes), resisten la respuesta inmune del hospedador, y son altamente tolerantes y resistentes a los tratamientos con antimicrobianos. Es por ello que las infecciones basadas en biofilms constituyen un serio problema hospitalario [21].

ERRADICACIÓN DE LOS BIOFILMS

El biofilm como ya se mencionó, constituye un modo de crecimiento protegido que permite a los microorganismos sobrevivir en ambientes hostiles. Como tales son sumamente difíciles de erradicar debido a características propias de la matriz, así como a propiedades inherentes a las

células sésiles. Durante los tratamientos de los mismos ya sea en infecciones clínicas, así como en biopelículas ambientales, aparece frecuentemente el fenómeno de tolerancia/resistencia de los biofilms a agentes antimicrobianos y/o biocidas, el cual se asocia a: (i) una alta densidad de células microbianas en biofilms maduros con bajas velocidades de crecimiento, (ii) baja penetración de fármacos/biocidas a través de la matriz extracelular y/o la unión covalente de los antisépticos o antimicrobianos a componentes de la matriz, (iii) aumento de la capacidad de expulsión de estos agentes desde el interior de las células mediante bombas y proteínas transportadoras, (iv) la expresión de enzimas que destruyen los agentes antimicrobianos, (v) aumento en la expresión de genes de resistencia y alteración en las respuestas de estrés celular, y (vi) la presencia de subpoblaciones de células microbianas llamadas "persistoras" que se forman espontáneamente dentro de un biofilm. Las células persistoras o durmientes se definen como variantes metabólicamente inactivas que son recalcitrantes a la exposición a antimicrobianos [22].

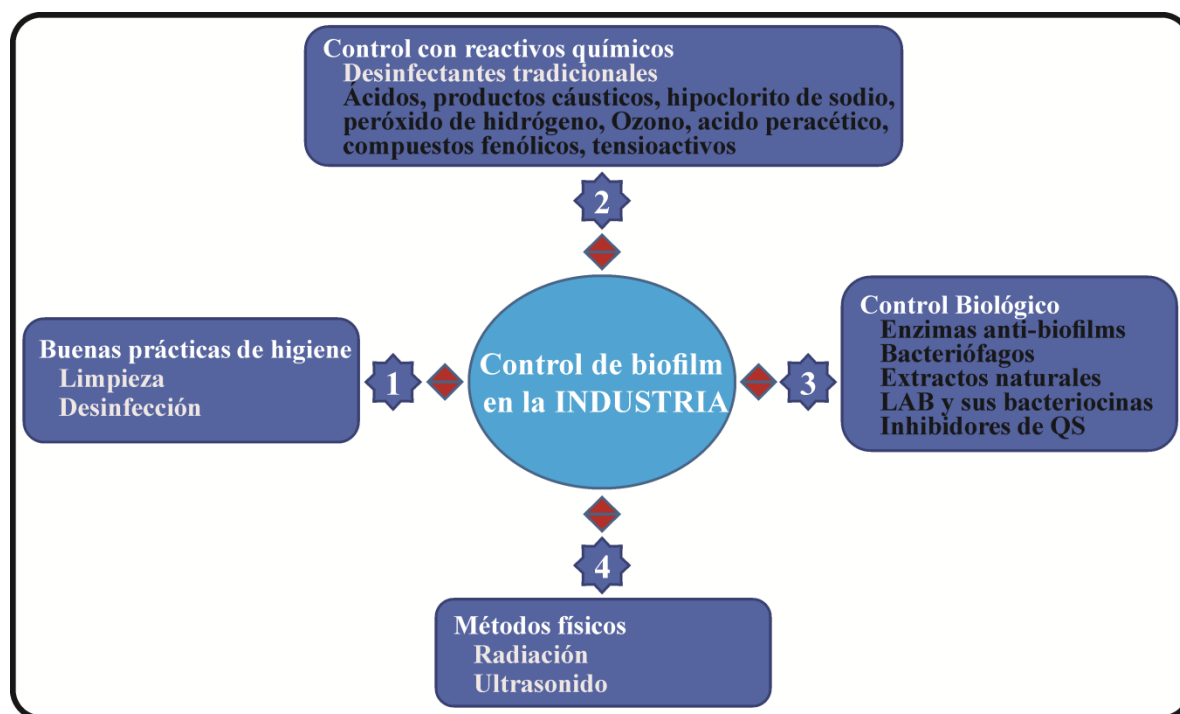


Figura 4. Métodos de remoción de biofilms empleados en la industria.

En el caso de industrias los tratamientos para evitar la formación de biofilms consisten en la implementación de regímenes convencionales de limpieza y desinfección. Sin embargo, si estos no se realizan de manera adecuada pueden contribuir a un control ineficaz de la biopelícula y a la diseminación de la resistencia. La eficacia del tratamiento con un agente biocida para erradicar o controlar un biofilm dependerá de factores físicos, químicos y biológicos propios de cada sistema a tratar. La primera etapa para el tratamiento de un biofilm en una planta industrial es su detección, aunque sin dudas lo ideal es evitar su formación y avanzar sobre la prevención del desarrollo de los biofilms. Esta

consiste en que el diseño de equipos e instalaciones sean fáciles de limpiar, las superficies estén bien pulidas, evitar abrasión, corrosión, empalmes, huecos, perforaciones o soldaduras de las cañerías, reponer piezas agrietadas o dañadas, durante la producción, minimizar salpicaduras, manchas, charcos y condensaciones, e identificar los posibles sitios favorables para el desarrollo de biofilms. Debe realizarse entonces una limpieza regular de las superficies a fin de remover además organismos muertos y partículas depositadas en las superficies, desinfectar regularmente los espacios y no permitir que se desarrolle un biofilm más allá de un umbral determinado (Figura 4). Luego de

la limpieza se aplican los desinfectantes. Sin embargo, previo a esto deben realizarse pruebas de laboratorio de los mismos empleando dispositivos con control de flujo, en condiciones dinámicas, para comprobar su eficiencia. Si bien la bibliografía sobre control de biofilms a nivel industrial es importante, existe una tendencia a utilizar biocidas oxidantes fuertes como el dióxido de cloro en los sistemas de refrigeración y el ozono en los sistemas de distribución de agua, ya que se comprobó que niveles bajos de cloro son ineficaces contra las biopelículas [23]. Las técnicas como el ultrasonido, campos eléctricos, hidrólisis de sustancias poliméricas extracelulares y los

métodos que alteran la adhesión y cohesión de biofilms están aún bajo estudio y no resultan aún económicamente factibles para ser empleados a nivel industrial. En el caso del tratamiento de las infecciones por biofilms en la clínica médica, se recomiendan altas dosis de antimicrobianos (habitualmente una combinación de diferentes fármacos) y en el caso de dispositivos hospitalarios, sustancias como ácido peracético durante un período prolongado. Se han empleado variadas técnicas y enfoques dirigidos a interferir con: i) la adhesión bacteriana (películas para recubrimientos), ii) los sistemas de comunicación entre células (inhibidores de señales de quorum sensing mediante degradación -quorum quenching- o bloqueo de señales) y iii) destruir o desestabilizar la matriz (DNAsas, proteasas, glicosidohidrolasas) [21]. Un enfoque

novedoso alternativo para controlar infecciones bacterianas está dirigido a contrarrestar la virulencia de los organismos en lugar de su viabilidad. Se busca inhibir al patógeno a un nivel que pueda ser luego eliminado por el sistema inmune del huésped, sin que pueda ocasionar aumento de resistencia.

ESTUDIO DE LOS BIOFILMS EN EL LABORATORIO. MÉTODOS DE CULTIVO Y ANÁLISIS

Para realizar estudios de biofilms en el laboratorio lo primero a tener en cuenta es que el sistema a emplear contemple las características propias del biofilm en la naturaleza [24]. Los primeros estudios sobre crecimiento *in vitro* emplearon métodos microbiológicos tradicionales, como placas de agar, cajas multipocillos, o columnas rellenas con soportes operadas en sistema batch o con flujo de nutrientes. Si bien estos sistemas

presentan limitaciones y sus condiciones de crecimiento difieren significativamente de las que una población microbiana encuentra en entornos naturales, dada su sencillez continúan siendo utilizados. Sin embargo, el objetivo último de los sistemas de estudio debe ser analizar a los biofilms en condiciones que reproduzcan sus hábitats naturales, tanto en relación al ambiente fisicoquímico como a las condiciones hidromecánicas. Otro desafío importante es buscar implementar en el laboratorio cultivos multiespecie, que son los que habitualmente se encuentran en la naturaleza.

Desde hace más de 15 años en el laboratorio de "Biofilms microbianos" del CINDEFI-CONICET-UNLP de la Facultad de Ciencias Exactas, investigamos diferentes aspectos de los biofilms producidos por patógenos respiratorios. Hemos desarrollado

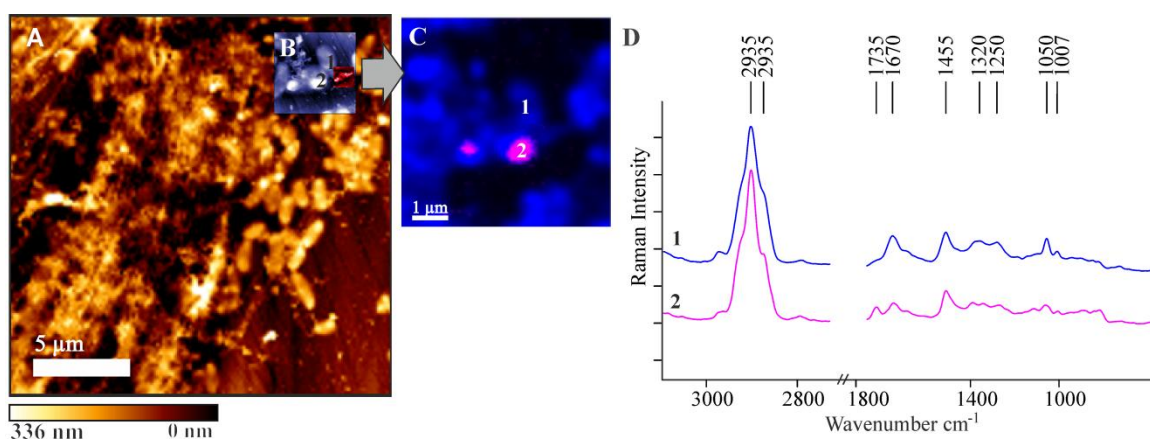


Figura 5. Análisis químico de un biofilm de *B. contaminans* empleando técnicas complementarias al nivel de la nanoescala. Biopelícula de 48 h obtenida sobre un portaobjetos de CaF₂ empleando un medio de cultivo mínimo operado en forma continua. El biofilm se estudió utilizando microscopía de fuerza atómica (AFM, paneles A y B), microespectroscopía Raman confocal (CRM, paneles C y D). El panel (C) muestra una imagen obtenida por análisis de agrupamiento jerárquico no supervisado de los espectros Raman. Espectros Raman promedios de los espectros se muestran en el panel (D).

diferentes estrategias de cultivo (cámaras de crecimiento, columnas rellenas con diferentes soportes, celdas de microfluídica operadas bajo flujo continuo de nutrientes), que permiten emular las condiciones hidrodinámicas de las vías áreas del hospedador [25, 26]. En estos sistemas de crecimiento se busca analizar los biofilms resultantes de determinadas condiciones de operación, tanto en sus aspectos estructurales como químicos. En el primer caso se puede emplear microscopía óptica, microscopía confocal de barrido láser (*confocal laser scanning microscopy-CLSM*), microscopía electrónica y de fuerza atómica. En particular, la microscopía electrónica de barrido (SEM) se utiliza generalmente como un procedimiento estándar en estudios de biopelículas [24]. En una estructura tan heterogénea como un biofilm resulta de interés emplear técnicas analíticas por sectores, empleando metodologías complementarias aplicadas a un mismo campo de investigación. Como ejemplo de las mismas se muestra en la Figura 5 un análisis sectorizado de un biofilm de *B. contaminans*, uno de los patógenos respiratorios de importancia en pacientes con fibrosis quística de nuestra región, donde hemos empleado microespectroscopía infrarroja con transformada de Fourier (FTIR), microscopía Raman confocal (MRC) y

microscopía electrónica de barrido. Las imágenes se obtuvieron en el Laboratorio de Bioespectroscopía del Instituto Robert Koch de Berlín [27]. Estas técnicas combinadas permiten estudiar la heterogeneidad física y química de biofilms a nivel de la micro- y nanoescala.

Las investigaciones en biofilm han tenido a nivel mundial importantes avances en los últimos años, lo que se ve reflejado por un aumento constante en el número de publicaciones en la temática. La industria química, la alimentaria y la salud humana y animal tienen en el biofilm un enemigo o benefactor que debe ser entendido en su funcionamiento para poder controlarlo o emplearlo con beneficios económicos.

CONCLUSIONES

Los biofilms microbianos constituyen una forma de vida que protege a la comunidad de organismos que los integran frente a condiciones estresantes del entorno. La enorme capacidad de adaptación que la estructura proporciona a sus integrantes les permite colonizar diferentes nichos, pudiendo afectar los mismos de manera beneficiosa o perjudicial. Poder utilizarlos o combatirlos nos lleva a la necesidad de avanzar en la búsqueda de nuevas estrategias analíticas, que nos aporten conocimientos detallados de la

dinámica de sus integrantes y el funcionamiento de la comunidad, en particular en el contexto de los biofilms polimicrobianos.

REFERENCIAS

- [1] J. W. Costerton, Z. Lewandowski, D. E. Caldwell, D. R. Korber, and H. M. Lappin-Scott, "Microbial biofilms," *Annual Review of Microbiology*, 1995, 49, 711–745.
- [2] M. E. Davey and G. A. O'toole, "Microbial biofilms: from ecology to molecular genetics," *Microbiology and Molecular Biology Reviews*, 2000, 64, 847–867.
- [3] H.-C. Flemming and S. Wuertz, "Bacteria and archaea on Earth and their abundance in biofilms," *Nature Reviews Microbiology*, 2019, 17, pp. 247–260.
- [4] R. M. Donlan, "Role of biofilms in antimicrobial resistance," *ASAIO J.*, 2000, 46, S47–S52.
- [5] H. Dang and C. R. Lovell, "Microbial surface colonization and biofilm development in marine environments," *Microbiology and Molecular Biology Reviews*, 2016, 80, 91–138.
- [6] H. Flemming and J. Wingender, "The biofilm matrix", *Nature Reviews Microbiology*, 2010, 8, pp. 623–633.
- [7] P. Stoodley, K. Sauer, D. G. Davies, and J. W. Costerton, "Biofilms as complex differentiated communities," *Annual*

- Review of Microbiology, 2002, 56, 187–209.
- [8] H.-S. Joo and M. Otto, “Molecular basis of *in vivo* biofilm formation by bacterial pathogens,” *Chemistry Biology*, 2012, 19, 1503–1513.
- [9] H.-C. Flemming, J. Wingender, U. Szewzyk, P. Steinberg, S. A. Rice, and S. Kjelleberg, “Biofilms: an emergent form of bacterial life,” *Nature Reviews Microbiology*, 2016, 14, 563–576.
- [10] L. Karygianni, Z. Ren, H. Koo, and T. Thurnheer, “Biofilm matrixome: extracellular components in structured microbial communities,” *Trends in Microbiology*, 2020, 28, 668–681.
- [11] M. H. Muhammad, A. L. Idris, X. Fan, Y. Guo, Y. Yu, X. Jin, J. Qiu, X. Guan and T. Huanget, “Beyond risk: Bacterial biofilms and their regulating approaches,” *Frontiers in Microbiology*, 2020, 11, 928, DOI: 10.3389/fmicb.2020.00928.
- [12] L. Hall-Stoodley, “Bacterial biofilms: from the natural environment to infectious diseases,” *Nature Reviews Microbiology*, 2004, 2, 95–108.
- [13] Z. Li, E. Yu, K. Zhang, W. Gong, Y. Xia, J. Tian, G. Wang and J. Xie, “Water treatment effect, microbial community structure, and metabolic characteristics in a field-scale aquaculture wastewater treatment system,” *Frontiers in Microbiology*, 2020, 11, 930, DOI: 10.3389/fmicb.2020.00930.
- [14] P. S. Bonanni, G. D. Schrott, L. Robuschi, and J. P. Busalmen, “Charge accumulation and electron transfer kinetics in *Geobacter sulfurreducens* biofilms,” *Energy & Environmental Science*, 2012, 5, 6188–6195.
- [15] T. Tatsaporn and K. Kornkanok, “Using potential lactic acid bacteria biofilms and their compounds to control biofilms of foodborne pathogens,” *Biotechnology Reports*, 2020, 26, e00477, <https://doi.org/10.1016/j.btre.2020.e00477>.
- [16] P. Van Dillewijn, H. Nojiri, J. R. Van Der Meer, and T. K. Wood, “Bioremediation, a broad perspective,” *Microbial Biotechnology*, 2009, 2, 125–127.
- [17] S. T. Sultana, J. T. Babauta, and H. Beyenal, “Electrochemical biofilm control: a review,” *Biofouling*, 2015, 31, 745–758.
- [18] N. Kip and J. A. Van Veen, “The dual role of microbes in corrosion,” *The ISME Journal*, 2015, 9, 542–551.
- [19] J. Guo, S. Yuan, W. Jiang, L. Lv, B. Liang, and S. O. Pehkonen, “Polymers for combating biocorrosion,” *Frontiers in Materials*, 2018, 5, 10, doi: 10.3389/fmats.2018.00010.
- [20] N. C. Gómez, J. M. P. Ramiro, B. X. V. Quecan, and B. D. G. de Melo Franco, “Use of potential probiotic lactic acid bacteria (LAB) biofilms for the control of *Listeria monocytogenes*, *Salmonella Typhimurium*, and *Escherichia coli* O157: H7 biofilms formation,” *Frontiers in Microbiology*, 2016, 7, 863, DOI: 10.3389/fmicb.2016.00863.
- [21] N. Høiby *et al.*, “ESCMID guideline for the diagnosis and treatment of biofilm infections 2014,” *Clinical Microbiology and Infection*, 2015, 21, S1–S25.
- [22] H. Koo, R. N. Allan, R. P. Howlin, and P. Stoodley, “Hall-Stoodley y L. Targeting microbial biofilms: current and prospective therapeutic strategies,” *Nature Reviews Microbiology*, 2017, 15, 740–755.
- [23] M. Simões, L. C. Simões, and M. J. Vieira, “A review of current and emergent biofilm control strategies,” *LWT - Food Science and Technology*, 2010, 43, 573–583.
- [24] J. Azeredo *et al.*, “Critical review on biofilm methods,” *Critical Reviews in Microbiology*, 2017, 43, 313–351.
- [25] D. Serra, A. Bosch, D. M. Ruso, M. E. Rodríguez, Á. Zorreguieta, J. Schmitt, D. Naumann and O. Yantorno, “Continuous nondestructive monitoring of *Bordetella pertussis* biofilms by Fourier transform infrared spectroscopy and other corroborative techniques,” *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, 2007, 387, 1759–1767.
- [26] A. Bosch, D. Serra, C. Prieto, J. Schmitt, D. Naumann, and O. Yantorno, “Characterization of *Bordetella pertussis* growing as biofilm by chemical analysis and FT-IR spectroscopy,” *Applied Microbiology and Biotechnology*, 2006, 71, 736–747.

[27] C. Figoli, M. Stämmler, B. León, C. Schaudinn, A. Bosch, M. Laue, P. Lasch.

Vibrational Micro- and Nanospectroscopy of *Burkholderia contaminans* Biofilms.

Trabajo presentado en el XXII International Conference on Organic Synthesis (22-ICOS) junio 2018.

De una Fábrica Química Pionera a la Nueva Sede del Gobierno de la Ciudad de Buenos Aires

Claudio Salvador

RESUMEN

En abril de 2015 se trasladó la Jefatura de Gobierno de la Ciudad de Buenos Aires a una nueva sede en el barrio de Parque de los Patricios ubicada en la manzana limitada por las calles Uspallata, Iguazú, Atuel y Los Patos. La noticia se difundió poniendo énfasis en las características arquitectónicas del edificio, su ubicación junto al Parque, y el hecho novedoso de que las autoridades del Gobierno de la Ciudad se instalen en barrios de la zona Sur. La construcción se había presentado como el aprovechamiento de una manzana vacía en un barrio postergado. Pero este predio tenía una larga historia de usos que reflejan transformaciones del barrio. El objetivo del libro fue reunir información original sobre este lugar basada en mapas, planos, guías, avisos, documentos. En esta nota se resume la historia y se señala que allí funcionó una de las fábricas pioneras de la industria química: la fábrica de óleo margarina de Seeber. Ésta tuvo un final extraño: terminó convertida en un gueto para confinar indigentes.

LA HISTORIA DEL PREDIO DE LA ACTUAL SEDE: ZONA DE QUINTAS

La sede de Jefatura de Gobierno de la Ciudad de Buenos

E-Mail
claudio.salvador@yahoo.com.ar

Nota al pie de página: (Extractado del libro: La Nueva Sede del Gobierno de la Ciudad. Una historia de fábricas y guetos en Parque de los Patricios, del autor).

Aires se trasladó en 2015 a Parque de los Patricios; está ubicada en la manzana limitada por las calles Uspallata, Iguazú, Atuel y Los Patos.

En esta nota se reseñará la historia de esa manzana durante el último siglo y medio, ubicando sus distintos usos y actividades.

Las historias barriales, como Llanes (1974) y otros, recuerdan la presencia de quintas en la zona en el siglo XIX; algunas de varias hectáreas, otras más pequeñas; una de las más recordadas es la de Francisco Moreno, donde hoy

está el Instituto Bernasconi; otra era la de la familia Escalada, en Caseros y Monasterio; después pasó a Navarro Viola.

Para instalar los mataderos en la zona se compró el terreno de Mejía; quedaron otros en los alrededores, como el de Day; la manzana objeto de nuestro estudio, donde hoy está la Nueva Sede de Gobierno, corresponde a la entonces quinta de Florencio Lima. Ver Figura 1.

Muchas eran quintas de descanso, aunque algunas tenían

alfalfares, árboles frutales y otras plantaciones.

La zona de quintas sufrió un cambio importante cuando se instaló el matadero en la meseta. Comenzaron actividades relacionadas con el aprovechamiento de subproductos de la ganadería, se instalaron tranvías para trasladar a la gente, y con el tiempo se fueron ubicando viviendas.



Figura 1. Mapa Arana, 1875.
La oblea roja señala la actual Sede.

Al mismo tiempo se instalaron en la zona actividades “indeseables” para el área urbana, como la disposición de las basuras; en general no parecen compatibles con el matadero si se lo considera como fuente de un importante alimento, que debe guardar medidas de higiene, pero si se lo ve como una actividad que movilizaba diariamente gran cantidad de animales que entraban por el barro, y cuya faena generaba olores, y desperdicios líquidos, empieza a comprenderse la ubicación: El matadero era una actividad indeseable más.

Durante muchos años se estableció una población marginal en la zona, El Pueblo de las ranas; estaba centrado en Amancio Alcorta y Zavaleta, pero tenía una gran extensión.

En la zona también se realizaron otras actividades que no parecen acordes al matadero; una de ellas es la descarga de materia fecal en un terreno municipal frente a los mataderos.

En los años siguientes se sucedían subdivisiones y loteos que marcaban el camino de la urbanización; sin embargo, al sur del matadero, (y luego del Parque) fue muy lento el amanzanamiento, como se puede ver en sucesivos planos.

ESTACIÓN DE TRANVÍAS

Desde la instalación del matadero en la zona, se establecieron tranvías que permitieron la comunicación con el núcleo urbano de la ciudad.

La primera línea de tranvías que llegó al barrio fue la “11 de septiembre” de Méndez, por Monteagudo y Rioja a principios de 1871; eran por supuesto tranvías a caballo; no tenía estación, estacionaba en un baldío en la actual Plaza Pringles, desde donde se podían tomar coches de plaza.

Posteriormente la línea pasó a manos de la empresa Ciudad de Buenos Aires.

Estos datos fueron reseñados por Horacio Méndez Montarcé

(Ateneo de Parque Patricios, 1971).

El plano de Bianchi de 1882 ubica una estación de tranvías en la actual manzana comprendida entre Los Patos, Uspallata, Iguazú y Atuel. Exactamente en la esquina de Atuel y Los Patos. Corresponde a esta línea Ciudad de Buenos Aires.

El edificio y los terrenos de la



Figura 2. Plano de Bianchi, 1882.
El N° 139 indica la Estación de tranvía.

estación fueron posteriormente vendidos al industrial Carlos Seeber que estableció allí su nueva fábrica a mediados de la década de 1880.

En el ínterin se habían instalado otras líneas de tranvías, y se siguieron produciendo cambios en la ubicación de las estaciones.

Estaba ubicada en la manzana que hoy ocupa la Sede.

LA BATALLA DE LOS CORRALES EN 1880

Se desarrolló en esta zona un cruento episodio de la revolución; dice Luis J. Martín, en “Los Mataderos y el barrio”, también publicado por el Ateneo de Estudios Históricos de Parque de los Patricios: “En 1880 la sangre que manchó la meseta no fue solo de las reses. Una vez más el enfrentamiento entre hermanos ventiló las cosas políticas como se acostumbró en la Patria: a tiros. Nuestra gente fue ríflera de Tejedor. Mitrista por simpatía y valientes por nacimiento, hicieron, como decía, la “pata ancha” y consiguieron un montón de muertos y heridos, que la ciudad se federalizara, y que la hacienda acorralada aumentara el pánico ante tanta bala”. Después del enfrentamiento se encontraron cuerpos en los corrales, en la estación de tranvía, (o sea en la manzana objeto de nuestro estudio) y las quintas cercanas.

Como resultado de las acciones, la provincia de Buenos Aires debió aceptar las condiciones impuestas por el Gobierno Nacional, y se logró la federalización de Buenos Aires y la consolidación del Estado.

FÁBRICA DE CARLOS SEEBER

A mediados de la década de 1880 el industrial Carlos Seeber compró los terrenos y galpones de la estación de tranvías para trasladar su fábrica procesadora

de grasas, aprovechando la ubicación inmediata al matadero, fuente de materia prima.

Distintas publicaciones sobre Historia de la Industria han mencionado la fábrica de Carlos Seeber entre las pioneras de la industria; por ejemplo Dorfman, en su “Historia de la Industria Argentina”, y Vaquer en la “Historia de la Ingeniería en la Argentina”.

La Cámara de la Industria Química y Petroquímica en su publicación “El Bicentenario y la Evolución de la Industria Química Argentina” dice:

“Entre la lista de empresas fundadas en Argentina entre 1838 y 1890 se destacan las siguientes fábricas químicas: en 1870 de óleo margarina de Carlos Seeber, de perfumes y jabones de Egidio Colonelli, de hormiguicidas de Antonio Gubba, de alcohol de maíz de Devoto, Rocha y Cía., de gelatina alimenticia y cola fuerte de Latourrete,..” sigue con otras de carbón, aceites, perfumes, negro animal, alcoholes, almidón, ácido sulfúrico, etc.

Seeber se dedicó a actividades rurales, y luego: “... elaboración de óleo margarina que trajo como derivado inmediato la fabricación de jabones.

A tal efecto abrió una fábrica del mencionado producto en las actuales calles Paraguay y Azcuénaga. Fabricó de esta

manera estearina, jabón y velas, y colocó su establecimiento a la altura de las primeras de Sud América. Fue un precursor y un pionero de la industria argentina. Falleció en Buenos Aires el 20 de enero de 1907”. (diccionario biográfico de Vicente Cutolo).

La búsqueda de informaciones originales aportó más detalles:

Algunos expedientes que se encuentran en el Archivo Histórico de la Ciudad de Buenos Aires muestran situaciones relativas a la fábrica de grasas de Seeber en Azcuénaga y Paraguay, cuyos vecinos no parecían tener la misma consideración que los estudiosos de la Historia de la Industria; por el contrario, la consideraban una molestia, presentaban quejas y pedidos de clausura.

Estas situaciones son conocidas y se repiten casos similares: la ciudad creció rápidamente, y las reglamentaciones sobre la localización de industrias se complicaban: El Estado intentaba interceder entre las industrias que se establecían en lugares descampados, y los vecinos que en poco tiempo construían sus viviendas a su alrededor.

Se puede ver en la Carpeta 5642. (Año 1882).

“En la sesión que tuvo lugar el día 28 de febrero de 1879 la Municipalidad concedió permiso al Sr. Seeber para establecer una

fábrica de extracto de grasa y de estearina y de aceites vegetales en la calle Paraguay esquina Azcuénaga.

Como el punto indicado aunque despoblado entonces, estaba en el radio prohibido por la Ordenanza... sobre establecimientos industriales considerados incómodos, peligrosos o insalubres, esta Oficina al informar el expediente 4656 lo manifestó así y pidió que se oyera al Consejo de Higiene Pública al efecto de saber si Eran aquellas de que habla el artículo 6º de la Ordenanza de 28 de agosto de 1860, pues así lo aseguraba el solicitante.

Previa audiencia de dicho Consejo se acordó otorgar el permiso bajo la condición de que los residuos se extrajeran diariamente fuera del municipio”.

Menciona quejas del vecindario sobre olores, que motivaron una inspección; la misma mostró que la fábrica había modificado sus procesos, y era ahora una fábrica de sebo para exportación. Se procesaba sebo procedente de la campaña, que se derretía en tachos abiertos y producía las emanaciones que molestaban a los vecinos.

Un Acta del 28 de Febrero de 1882 señalaba que “Carlos Seeber obtuvo permiso de la Comisión Municipal para elaborar grasas y sebos provenientes de los mercados con el objeto de separar la óleo margarina de la estearina, siguiendo el procedi-

miento bien conocido de Mège-Mouriés. Según los términos de su solicitud se proponía emplear los sebos más limpios y de mejor calidad y se comprometía a sacar del establecimiento los residuos líquidos provenientes de la fabricación.

Una preparación del sebo por el procedimiento indicado no puede causar molestia al vecindario ni ser tachada de incómoda ni de insalubre”.

Señalaba que además de los equipos, en perfecto estado de funcionamiento, hay otros, no previstos, que originaron las quejas; Seeber explicó que, de los 3.000 kg de sebo procesados por día, 1.500 se hallaban en malas condiciones para la preparación de óleo margarina, pues la grasa estaba mezclada con carne, formando la llamada mucanga. Se habían instalado dos tachos para fundir el sebo no apto, y no desperdiciarlo; se obtenía así una grasa ordinaria, y restos que se usaban como combustible.

En los alrededores de la fábrica se encontraba el Hospital Buenos Aires, y numerosas casas recién construidas.

En consecuencia, el Dr. Pedro Arata, firmante del Acta, terminaba: “puede mantenerse el permiso acordado anteriormente al Sr. Seeber en los términos de su solicitud, es decir para fabricar óleo margarina, y estearina, pues esta industria no es insalubre ni incómoda, pero que debe

prohibirse la fusión a fuego directo del sebo...” (Carpeta 7695. Año 1882)

Los vecinos se dirigen al Presidente de la Municipalidad y piden la clausura del establecimiento de Seeber.

Aclaremos que Mège-Mouriés fue un químico francés que inventó y patentó el método para fabricar óleo margarina, un sustituto de la manteca. Impuso el nombre “margarina”, debido al llamado ácido margárico que la componía; posteriormente se encontró que en realidad era mezcla de ácidos grasos. Pero el nombre quedó.

(No es la margarina actual, desarrollada posteriormente, que se obtiene a partir de aceites vegetales).

Mège-Mouriés recibió un premio del gobierno francés; vendió su invento a una firma holandesa que encaró su producción; fue una de las formadoras de la importante multinacional Unilever.

La fábrica de Seeber se trasladó junto al Matadero, zona entonces descampada.

Manuel Chueco (1886), describe el establecimiento ya ubicado en el actual barrio de Parque de los Patricios.

“La gran fábrica de óleo margarina de Carlos M. Seeber está perfectamente instalada en adecuado y bien ubicado local. Ocupa el terreno y el edificio de la estación del antiguo Tramway Anglo-Argentino, situada al lado

mismo del Matadero Público, lo que le permite recibir y empezar a elaborar las gorduras inmediatamente después de faenadas las reses, es decir, completamente frescas, inapreciable ventaja que, a la vez que tiene gran importancia en el orden económico, la tiene en lo relativo a la higiene”.

Este dato es clave para explicar su ubicación; con el traslado puede solucionar los problemas que tenía en Paraguay y Azcuénaga.

Por otro lado, confirma que trabajó en la manzana objeto de nuestro estudio, que es donde

mientos, prensado, etc. para obtener un producto libre de estearina, de mejor sabor. La estearina separada se destinaba a la elaboración de velas.

Sigue Chueco:

“Una de las industrias más recientemente implantadas en el país, pero también una de las que más deben ocupar nuestra atención por la importancia que tiene y su relación íntima con nuestra principal fuente de riqueza –la ganadería– a la vez que por las provechosas reformas higiénicas que introduce en la alimentación del hombre, es la fabricación de óleo margarina”.

Tan pronto como le fue posible hacerse de las máquinas y aparatos que son necesarios para la elaboración del nuevo producto, fundó su nueva gran fábrica y se consagró por completo a la industria que merced a su perseverancia, a su inteligencia y a su actividad, ya merece figurar entre las más importantes del país”.

...

“Y el jefe competentísimo de nuestra Oficina Química Dr. Pedro Arata después del análisis verificado en el óleo margarina fabricada por Carlos Seeber declara que “no contiene ninguna



Figura 3. Fábrica Seeber en Parque de los Patricios. Caras y Caretas, 1909.

estaba la estación de tranvía.

Describe el proceso para obtener óleo margarina, sin productos químicos. Utilizaba calenta-

A Carlos M. Seeber, activo y laborioso compatriota nuestro, se debe la implantación en el país de tan importantísima industria.

materia conservadora de origen mineral ni orgánico y que por consiguiente el artículo analizado

es un producto perfectamente apto para alimentarse”.

“El procedimiento... fue descubierto recién en 1872 por el célebre químico francés Mège-Mouriés ...”

Menciona fábricas recientemente instaladas en París, Alemania, Nueva York y otras ciudades americanas, Viena, etc.

En cuanto al proceso: “Antes de perder por completo el calor natural, entra en el vasto taller de la fábrica la grasa que va a ser convertida en óleo margarina; allí inmediatamente se clasifica y se despoja a cuchillo de todo lo que no es gordura, y en seguida se lava perfectamente en dos aguas, en aparatos apropiados. En este estado se entrega a dos grandes máquinas movidas a vapor que la cortan y desmenuzan a fin de poderla derretir sin hacerla hervir como en efecto se hace, disolviéndola en una cuba de madera sobre una pequeña cantidad de agua apenas caliente operación que se hace echando paulatinamente en la cuba la materia triturada para evitar su disolución y conservando la temperatura por medio de una leve corriente de vapor libre.

El líquido oleoso que resulta se decanta con cuidado y se deposita en un baño maría estañado hasta que por el reposo de algunas horas se ha asentado y clarificado perfectamente.

De este baño maría pasa a una cámara caliente en recipientes

estañados, donde por medio de una temperatura de 30 a 35° se consigue la cristalización de la parte esteárica en el término de 36 horas más o menos.

En esta condición, va la materia a las prensas hidráulicas, cuya presión extrae en estado líquido la óleo margarina, quedando en las prensas la parte sólida que en su totalidad es estearina.

La óleo margarina que despiden las prensas es recogida en grandes baldes de latón con los cuales se transporta a un baño maría especial, munido de una canilla que sirve para llenar los tarros en que se expende”.

Durante muchos años la fábrica ocupaba solo la manzana de Iguazú, Los Patos, Uspallata, y Atuel.

Así aparece claramente en los mapas de Obras Públicas de la Municipalidad.

En la publicación de la UIA, Unión Industrial Argentina, (1895) aparece una interesante reseña sobre la fábrica de Seeber, que ya había incorporado otros procesos.

“Fábrica de jabón, velas, óleo margarina y grasa común de Carlos M. Seeber. Corrales-Escritorio: Moreno 739, Capital.

La fábrica, establecida al lado de los Corrales de Abasto ocupa una extensión de una cuadra cuadrada.

La describiremos por el orden con que la visitamos.”

Describe: Fábrica de jabón- Fábrica de grasa- Fábrica de

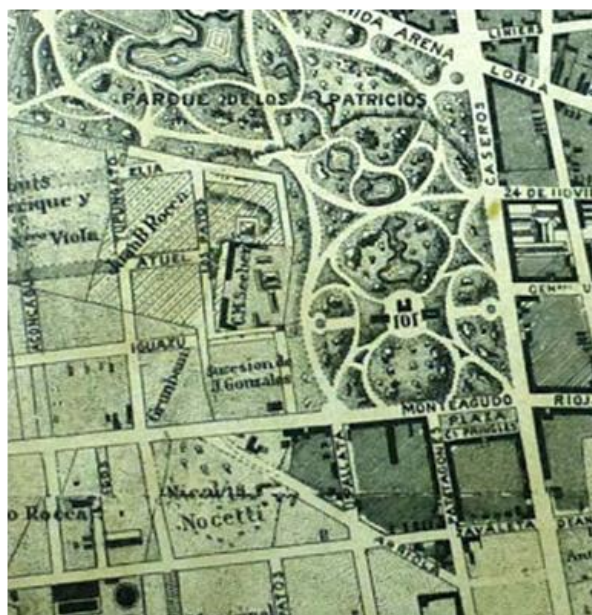


Figura 4. Mapa Municipal 1907. Se lee: Seeber en la manzana en cuestión.

velas.

La fábrica producía diariamente seis mil kilos de jabón y seiscientos paquetes de velas; empleaba 80 operarios, y usaba 2 motores a vapor, y 16 vehículos, chatas y carros.

Años después, un artículo de Caras y Caretas en 1909 describía la misma fábrica:

Estaba instalada en el terreno de 42.000 varas cuadradas, junto al Parque que reemplazó al Matadero cuando éste dejó de funcionar. Para entonces Seeber elaboraba glicerina, jabón, velas, grasa, óleo margarina, estearina, etc.

La razón social era Seeber Hnos. y Cía. En la fábrica trabajaban unos 450 obreros, y en los sectores comerciales, y la sede administrativa, unas cien personas más.

Producía 11.000 toneladas anuales de jabón amarillo, 450 toneladas de óleo margarina, 1.500 toneladas de grasa, y 380.000 cajones de 25 paquetes de velas de estearina; 800 toneladas de estearina en bruto, 300 toneladas de glicerina para exportación, y grandes cantidades de sebo, chicharrón, etc.

El primer Congreso Argentino de Química, realizado en 1919 por la Asociación Química Argentina, muestra un trabajo sobre la "Industria de los jabones y bujías esteáricas".

Calculamos que para la fecha del Congreso el establecimiento de Seeber ya estaba inactivo.

"En 1910 el Señor Carlos Seeber hizo reclamaciones a la Municipalidad a causa de disposiciones por las que ordenaba colocar campanas y chimeneas de gran altura para recoger y esparcir los vapores emanados durante la saponificación a la vez que se disponía a cercar con altos muros el terreno en donde estuvieran instaladas las fábricas, reglamentando también la manipulación de cerca de grandes calderas. El señor Seeber sostuvo que dada la pureza de los sebos elaborados ellos no despiden emanaciones nocivas."

"Los establecimientos han pasado por una serie de renovaciones, pero la fabricación de jabón, velas y glicerina reunidas se halla limitada a muy pocos".

Evidentemente uno de los pocos había sido hasta corto tiempo antes el de Seeber.

El fundador, Carlos Seeber había fallecido en 1907; sus sucesores llevaron adelante la actividad durante varios años. La última figuración de Seeber en Guías la encontramos en 1917.

Hacia 1920 la fábrica había quedado inactiva, y la sucesión de Seeber preparaba el loteo y venta de los terrenos.

ASILO POLICIAL

La fábrica Seeber ya estaba preparada para su loteo y venta cuando se produjo un hecho que cambió su destino por unos años. Sorprendentemente en un barrio que progresaba, esta ubicación privilegiada fue destinada a armar una especie de "Gueto" para alojar indigentes.

Sobre el origen del Asilo Policial, el 18 de abril de 1921 el Jefe de Policía, Elpidio González, decía:

"Con ocasión del crecido número de familias desalojadas de sus viviendas por mandatos judiciales y ante la situación de indigencia que les creaba a ellas el encarecimiento de los alquileres..."

En nota del 30 de noviembre del 1920 al Ministro del Interior, el Jefe de Policía decía:

"...Dentro de la misión fundamentalmente preventiva atribuida a la policía, como órgano del estado en contacto permanente con las necesidades y exigencias de la vida local, cabe la función de protección decidida y amplia, ejercitada por modo permanente sobre todos aquellos a quienes una eventualidad extraordinaria coloque en situación comprometida en un momento dado.

.. a las personas transitoriamente sin hogar, corresponde ejercitar esta función desde ya en un local espacioso como el arrendado a

tal fin en la calle Monteagudo y Los Patos en el cual, con carácter provisorio, se aliviará la situación de aquellas.”

podiera, por falta de recursos, mejorar la situación”.

En La Prensa del 11 de noviembre 1922 se puede leer:

“El asilo policial, Una vergüenza



Figura 5. La fábrica transformada en “Asilo”. *Atlántida*, 1920.

Romay, (1963) rescata informaciones de Memorias Policiales y otros Documentos

“Inmediatamente se comenzaron a recibir donaciones procedentes de distintos establecimientos, consistentes en colchones y frazadas”. (1921).

“Instalado como solución de emergencia, el Asilo no recibió ayuda alguna”

Algunas familias se retiraron al encontrar mejor ubicación y su lugar fue ocupado por otros elementos.

Esto y la precariedad del lugar hicieron el resto, sin que la Policía

de la ciudad; no se ha realizado el desalojamiento.

En ese lugar viven en promiscuidad, en ambientes favorables para todos los vicios y enfermedades 1.500 personas de ambos sexos, de toda edad. La Prensa se ha ocupado varias veces de ese antro existente en la metrópoli: ha descrito lo que son esos cuchitriles formados con lonas viejas y materiales inútiles en caballerizas y galpones que fueron de una fábrica de jabón, junto al Parque de los Patricios, y se abandonaron por inservibles y deteriorados; señaló la falta de servicios sanitarios, la

improvisación de retretes y la acumulación de aguas servidas y desperdicios, así como el funcionamiento de locales sin control oficial; ha mostrado con fotografías las características de la población y de los tugurios”.

En sentido contrario, una nota de la revista *Atlántida* mostraba el uso del agua y jabón, la presencia femenina, los chicos, y hablaba de los trabajadores con problemas.

Varios autores estiman que los habitantes del Asilo eran en realidad los “cirujas” del Pueblo de las Ranas, que había sido desmantelado.

En 1922, finalmente se ordenó el desalojo del Asilo Policial.

Afortunadamente este predio en una excepcional ubicación, recuperó su uso industrial.



Figura 6. Parte de los 800 niños confinados en la fábrica Seeber. Atrás se ve un policía.

LA FÁBRICA DE BULONES DE PABLO MÁSPERO

Según el Diccionario Biográfico Ítalo Argentino:

Máspero, Pablo

“Industrial. Nació en Como, (Italia) en 1854. Llegó a la Argentina en 1882 y fue uno de los precursores de la industria metalúrgica en nuestro medio, al que llegó ya munido de conocimientos técnicos en su campo específico.

Comenzó como obrero y muy pronto llegó a ser jefe de sección. En 1887, instaló una fábrica especializada en trabajos de hierro forjado y en artículos rurales. Más tarde, emprendió asimismo la fabricación de bulones, tornillos y artículos afines. En el sector de su competencia, su industria llegó a ser una de las principales de la Argentina, y lleva todavía el nombre de su fundador”.

Las Guías Kraft de distintos años, y otras publicaciones, junto con las referencias familiares permitieron reconstruir su trayectoria.

Pablo Máspero se inició con un taller en Pichincha e Independencia. Se llamó “San Cristóbal”.

Posteriormente se dedicó a la fabricación de bulones, se ubicó en Estados Unidos 2864; se expandió a la vuelta, por Deán Funes, en establecimientos comunicados.

En la década de 1910 la empresa estaba en Estados Unidos 2864; quedaron interesantes catálogos que permiten conocer con detalle su actividad.

En el surtido de artículos aparecen:

Bebedores para hacienda, Baldes volcadores y artículos relacionados, depósitos, carros aguateros, portones, verjas, aparatos para estirar alambre, cocinas económicas.

Caras y Caretas, julio 1933 decía:

“Vista parcial de la sección “Prensas a frío” de la fábrica de bulones, tornillos y remaches de los señores Pablo Máspero e hijos, establecidos en 1887, domiciliados en Buenos Aires en Deán Funes 926. Esta fábrica

produce 7.000 artículos diferentes, Ocupa 150 personas entre obreros y empleados. Tiene una producción anual de 1.800 toneladas de un valor de \$1.500.000 m/n. En combustible nacional paga anualmente \$50.000. Se distingue en la fabricación de artículos para tranvías, ferrocarriles, astilleros, frigoríficos, ingenios, y telégrafos, etc.”.

Mostraba las prensas en el interior del taller.

En 1934 la fábrica inició la actividad en la calle Uspallata, en una manzana, (Uspallata, Atuel,



Figura 7. Vista aérea de la bulonera Máspero.

Los Patos, Iguazú), con las más modernas máquinas en las amplias instalaciones, espaciosas, y con un aspecto casi rural, junto al Parque de los Patricios.

Una nota de la revista de la UIA, Argentina Fabril, abril 1937 recuerda el 50 aniversario de la empresa.

Ya había fallecido el fundador, Pablo, el 26 de noviembre de 1935, y la empresa estaba en manos de sus hijos: Enrique, Rafael, Ángel y Martín Máspero.

El festejo consistió en un lunch para 500 personas, entre ellas el Presidente de la UIA, Unión Industrial Argentina, Luis Colombo y otros directivos, familiares, entre ellos su hermano Luis, y numerosos empresarios.

La manzana tenía, (y sigue teniendo), un fuerte desnivel, bajando desde Uspallata a Los Patos.

Quedan unos 20 metros de largo de barranco sobre Los Patos, no edificados; en la parte aplanada, con frente a Uspallata se ubican: a la izquierda, depósitos de materia prima (alambre, hierro, etc.); en el centro, taller y garaje; arriba, oficinas; adelante, playas con caminos y balanza; a la derecha, sobre Atuel, la planta de producción, con siete naves, en total más de 2.000 m².

A fines de la década del 1950, época de políticas desarrollistas, la empresa encara un proceso de expansión: se construye una nueva nave de dos plantas sobre

Los Patos, y se efectúa un importante reequipamiento, que incluye un grupo electrógeno Caterpillar de 400 HP; matricerías, roscadoras, equipos de electroerosión.

En la década de 1960 la planta o-

trabajaba parcialmente en relación con la fábrica familiar.

El titular fue Alberto, nieto de Don Pablo. El negocio se inició en la calle Benito Juárez, y en la década del 1970 se instaló en la calle Segurola 2362, su ubicación

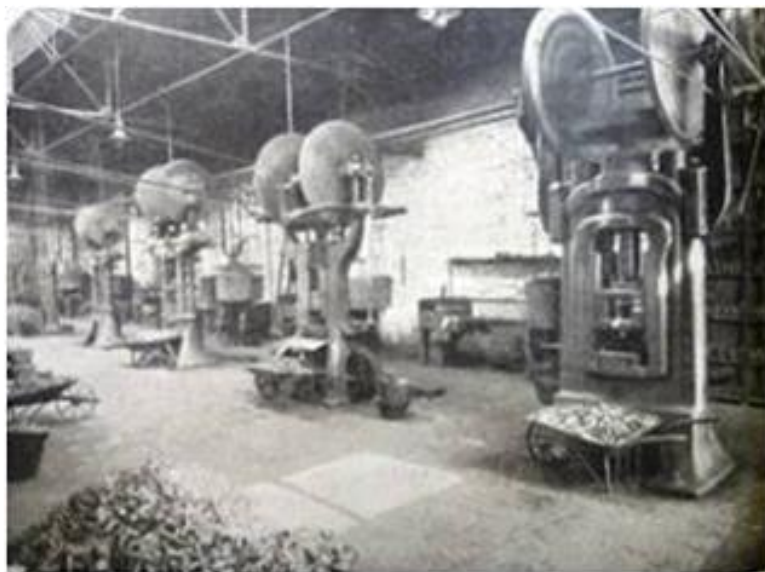


Figura 8. Interior. Argentina Fabril, 1937

cupaba unas 220 personas sumando las que trabajaban en producción, oficinas, talleres, etc.

En los años 1960 se produjeron dificultades financieras; la empresa Máspero intentó concretar asociaciones con empresas proveedoras, pero a fines de la década la planta cerró.

No obstante, funcionó muchos años, y es recordada por los vecinos.

Cuando todavía funcionaba la fábrica de Parque de los Patricios, parte de la familia Máspero estableció una empresa comercializadora de bulones, que

actual, en el barrio de Monte Castro.

Hoy la actividad la lleva adelante Jorge Máspero, hijo de Alberto, y por tanto bisnieto del fundador de la empresa, Pablo Máspero.

Conservan la marca "Bulones Máspero", adquirida al resto de la familia, y siguen en el rubro bulonería después de más de un siglo de trayectoria.

UN LOTE VACÍO EN UN BARRIO "POSTERGADO"

Existió un proyecto para edificar viviendas que no había avanzado. El edificio de Uspallata había sido parcialmente demolido.

La curtiembre La Francia Argentina estaba al lado, en diagonal a la sede. Se ubicó allí a mediados de la década de 1910. La Francia desapareció antes que Máspero; durante años la manzana de Monteagudo, Pedro Chutro, Iguazú y Los Patos, y la manzana de la ahora sede del Gobierno, estaban casi vacías, y daban a la zona una sensación de abandono; en las dos manzanas se habían intentado proyectos de viviendas, que no avanzaron; 10 años atrás, seguían en ese estado.

Pero las grandes superficies disponibles hicieron posible

encarar nuevos proyectos.

La manzana de la actual sede, era propiedad del Instituto para la Vivienda de la Ciudad; el objetivo era erigir un complejo para socios de la Cooperativa para la Vivienda del Sindicato de Luz y Fuerza.

En los primeros años de este siglo, sobre la calle Los Patos quedaba en pie una construcción industrial de hormigón de dos plantas, a lo largo de toda la cuadra, con una superficie total de más de 4.000 m² cubiertos.

Créase o no, la situación de instalación de indigentes en este

predio, que ocurrió hace un siglo, estuvo a punto de repetirse en pleno siglo XXI.

Se trata del hecho ocurrido en febrero de 2007 que las crónicas periodísticas llamaron “el episodio de Villa El Cartón”.

Pero esta vez la historia fue diferente debido a la dura oposición de los vecinos.

El problema se inició al producirse un incendio en un asentamiento conocido como “Villa El Cartón” del barrio de Villa Soldati. Los habitantes que perdieron sus casillas se encontraban viviendo en precarias tiendas levantadas en Parque Roca, a la espera de una solución. Un temporal arrasó las tiendas, y la caída de las estructuras que las sostenían hirió a varias personas, y provocó la muerte de una mujer.

Las autoridades trataron de dar respuesta a la situación y anunciaron que alojarían a las personas afectadas por este problema en una estructura industrial ubicada en Iguazú y Los Patos; es decir en la construcción mencionada, en la manzana motivo de nuestro estudio, que nuevamente sufría las oscilaciones entre ser una industria pionera, o una especie de “Gueto” para confinar indigentes.

Pero esta vez no se concretó: el 26 de febrero de 2007 los vecinos



Figura 9. “Pueblada” en la calle Los Patos.
Fotos cortesía de la vecina Graciela Porro, 2007.

reaccionaron y se congregaron en el lugar en que empleados del Ministerio de Espacios Públicos de la ciudad realizaban ya tareas de limpieza previas a la llegada de los nuevos habitantes.

La movilización vecinal duró varias horas y concluyó por la noche con la llegada de los bomberos, la policía y los principales canales de televisión.

A pesar de que ante la oposición vecinal el gobierno suspendió la medida, al día siguiente los vecinos volvieron a reunirse en la puerta de la ex fábrica con el fin de impedir potenciales ingresos de personas a la edificación, de realizar una asamblea para “organizar la lucha”.

El Diario Página 12 titulaba: “Por Temor a los pobres” Vecinos de Parque de los Patricios incendiaron una fábrica abandonada.

El diario Perfil publicó un texto similar, pero agregaba un comentario de una vecina:

"Nadie va a poder pasar a esta fábrica. Queremos defender nuestra propiedad privada, que tiene un valor determinado. Si dejamos que se ocupe el espacio con una villa, nuestras propiedades van a valer dos centavos", explicó una vecina.

EL PROYECTO DEL BANCO CIUDAD

El Banco Ciudad decidió construir una nueva sede central en Parque de Los Patricios. Se

decidió construir un nuevo y único edificio corporativo central. Después de analizar varias alternativas se optó por la manzana propiedad del Instituto de la Vivienda de la Ciudad en Uspallata, Atuel, Los Patos e Iguazú.

En el libro “Banco Ciudad Nueva Sede” editado por el Banco en 2011 para presentar el proyecto, decía Federico Sturzenegger, entonces Presidente del Banco:

“Pocas veces se da que un proyecto combine una utilidad tan trascendental para una institución y al mismo tiempo, para su ciudad. La construcción de la nueva sede del Banco Ciudad en el barrio de Parque de los Patricios no solo representará un cambio radical en la manera de trabajar para la organización, sino también un cambio en el eje gravitacional de las áreas con potencial para el desarrollo urbano dentro del ámbito de la ciudad”.

Para definir las características del edificio se formó un comité integrado por Presidente, Vice, Gerente General; Subgerentes generales, Gerentes de áreas, Comisión interna, etc.

Se realizó un Concurso Público, con las etapas: Antecedentes empresariales y de diseño, Oferta técnica, Oferta económica.

El Jurado estuvo integrado por los Arquitectos María Teresa Egozcue, Pablo Katz, Alberto Varas y Francisco Mangado.

Se presentaron 17 propuestas; quince de ellas pasaron a la segunda etapa.

El Proyecto ganador fue el presentado por el Arquitecto inglés Norman Foster, junto con el estudio Berdichevsky- Cherny y Asociados, Edgardo Minond, y CRIBA Constructora.

El proyecto dispone las plantas de oficinas en forma de bandejas que se van retirando en altura, formando palcos sobre el parque. Genera en la planta baja un espacio de múltiple altura. El parque abarca toda la fachada principal.

La cubierta ondulada flota como paisaje sobre las copas de los árboles, y aloja a todos bajo un mismo techo.

El sistema de aire acondicionado, impulsado desde el piso, refrigera prioritariamente el aire usado por las personas y evita el tendido de conductos.

Sobre la calle Uspallata, vinculada al Parque de los Patricios, se crea un gran espacio cívico cubierto, una plaza de ingreso, que comunica el carácter institucional del edificio.

Cuando la construcción estaba muy avanzada, cambió su destino: pasó a ser la Nueva Sede del Gobierno de la Ciudad.

LA NUEVA SEDE DEL GOBIERNO DE LA CIUDAD

Se toma una nota de diarios:

Macri inaugurará la nueva sede del Gobierno de la Ciudad de Buenos Aires.

1 de abril 2015 Diario Perfil.

“Se tratará de la primera oficina pública de Sudamérica con normas de calidad ambiental.

El jefe de Gobierno porteño, Mauricio Macri, inaugurará hoy la nueva sede del Gobierno de la Ciudad de Buenos Aires, en Parque de los Patricios, en un acto del que participarán invitados especiales y el arquitecto Norman Foster, quien lideró el proyecto de

construcción del que es el edificio oficial con mejor estándar medioambiental de Sudamérica.

El edificio, ubicado en la manzana delimitada por las calles Uspallata, Atuel, Los Patos e Iguazú, tiene 38.000 metros cuadrados divididos en tres plantas de oficinas, más las de recepción, mantenimiento y garaje, con una capacidad para 1200 empleados y dispone de 400 cocheras, comedor y salón auditorio, entre otros. Las instalaciones fueron diseñadas para reducir al mínimo la

utilización de energía artificial”.

.....

“Cuando inició el período de sesiones ordinarias de la Legislatura porteña, Macri lo describió como “símbolo de una ciudad integrada” porque “marca un antes y un después en la historia de Buenos Aires”.

La descripción publicada (proyecto del Banco) dice:

“Una nueva imagen que alude a la identidad y memoria del lugar en relación a su historia como



Figura 10. Sede del Gobierno de la Ciudad, frente al Parque. Foto del autor, 2015.

barrio industrial.

El techo de bóvedas de hormigón visto y su tamaño referencia a la escala de un edificio fabril.”

CONCLUSIÓN

La sede del gobierno de la Ciudad se ubicó en 2015 en la manzana comprendida entre las calles: Uspallata, Iguazú, Atuel y Los Patos. A lo largo del tiempo, allí funcionó una estación de tranvías, fue parte de la batalla de los Corrales en 1880, funcionó la fábrica Seeber procesadora de grasas, y elaboradora de velas, jabones, óleo margarina, etc. En 1920 alojaba más de 1000 indigentes en la fábrica inactiva, convertida en Asilo Policial; en la década de 1930 se instaló la bulonera Máspero; pero en los años 1960, esta fábrica también quedó inactiva; y en 2007 estuvo a punto de volver a alojar indigentes. Finalmente se construyó la moderna sede del Banco Ciudad, que se redestinó para sede del Gobierno de la Ciudad.

Esta historia se complementa, en el libro, con aspectos históricos importantes como la Cuestión Capital, las características de la zona, la instalación de los mataderos, el posterior reemplazo del matadero por el Parque de los Patricios, virtual nacimiento del barrio, la ubicación en la manzana contigua de la curtiembre más importante del país, la decadencia de los últimos años, y el actual resurgimiento de la zona, basado en la llegada del

Subte H, la creación del Distrito Tecnológico, y otras acciones.

La instalación de la Sede de Gobierno es un factor clave en esta etapa.

Por tanto este libro refleja algunos aspectos parciales, pero importantes de la historia del barrio de Parque de los Patricios: avances y retrocesos, largos abandonos, y usos marginales, que parece haber llegado a su fin, e imponerse una concepción progresista para la zona, acorde a su excelente ubicación, y a las posibilidades que brinda.

Basado en el libro:

Salvador, Claudio, La Nueva Sede del Gobierno de la Ciudad de Buenos Aires. Una historia de fábricas y guetos en Parque de los Patricios. Bs. As., 2016.

Más información:

www.parquepatriciosnuevasede.blogspot.com

REFERENCIAS

- [1] CUTOLO, V., 1985, Nuevo Diccionario Biográfico Argentino, Buenos Aires, Elche
- [2] CHUECO, M., 1886, Los pioneros de la Industria Nacional, Buenos Aires, La Nación
- [3] LLANES, R., 1974, El barrio de Parque de los Patricios, Buenos Aires, Municipalidad de Buenos Aires
- [4] ROMAY, F., 1963, Historia de la Policía Federal Argentina, Buenos Aires, Editorial Policial

[5] UNION INDUSTRIAL ARGENTINA, 1895, Guía descriptiva de los principales establecimientos industriales, Buenos Aires

[10] Caras y Caretas, 1909 y 1933.

[11] Atlántida, 1920

[12] Argentina Fabril, 1937

[13] Actas del Primer Congreso Nacional de Química, 7 al 17 de julio de 1919; Volumen IV, Sección Técnica, pág. 155. Industria de los jabones y bujías estéricas, José María Ferreiro, Doctor en Química.

[14] Álbum “Banco Ciudad Nueva Sede” editado por el Banco en 2011

[15] Cámara de la Industria Química y Petroquímica, “El Bicentenario y la Evolución de la Industria Química Argentina” 2010

[16] Ateneo de Estudios Históricos de Parque de los Patricios, fascículos varios

[17] Archivo Histórico de la Ciudad de Buenos Aires, Legajos varios

Premios Nobel de Química y de Física 2020

Comité Editorial

Los premios Nobel otorgados en 2020 constituyeron un reconocimiento muy significativo al trabajo de investigadores en el campo de las ciencias químicas y físicas.

Premios Nobel de Química – 2020

El 7 de octubre de 2020, la Royal Swedish Academy of Sciences otorgó el premio Nobel de Química a la Dra. Emmanuelle Charpentier del Max Planck Unit for the Science of Pathogens,

Berlin, Alemania y a la Dra. Jennifer A. Doudna de la University of California, Berkeley, USA, “por el desarrollo de un método para la edición del genoma”.

En 2012, Jennifer Doudna y Emmanuelle Charpentier desarrollaron una metodología para introducir cambios de alta precisión en los genes. La modificación de los genes en células constituía un proceso difícil, a veces imposible, cuando no muy lento.

Las Dras. Charpentier y Doudna emplearon las defensas inmunitarias de las bacterias que desactivan los virus cortando su ADN con un tipo de “tijeras genéticas” conocidas como CRISPR / Cas9. Este acrónimo, en inglés significa Clustered Regularly Interspaced Short Palindromic Repeats (Repeticiones Palindrómicas Cortas Agrupadas y Regularmente Inter-espaciadas). Por otro lado, la proteína conocida como Cas9 es una nucleasa, esto es, enzima especializada en cortar ADN, con dos sitios de corte activos, uno



Emmanuelle Charpentier, nació el 11 de diciembre de 1968 en Juvisy-sur-Orge, Francia, doctorándose en 1995 en el Instituto Pasteur de París. Actualmente es directora del Max Planck Unit for the Science of Pathogens, Berlin, Alemania. Para más detalles puede consultarse el sitio Emmanuelle Charpentier – Facts – 2020. NobelPrize.org. Nobel Prize Outreach AB 2021. Sat. 2 Oct 2021. <https://www.nobelprize.org/prizes/chemistry/2020/charpentier/facts/> del metal. Photo: A. Mahmoud.



Jennifer A. Doudna, nació el 19 de febrero de 1964, Washington, D.C. Se doctoró en 1989 en la Escuela de Medicina de Harvard, Boston, EEUU. Es profesora en la Universidad de California, Berkeley, EEUU e investigadora en el Instituto de Medicina Howard Hughes. Para mayores detalles puede consultarse el sitio: Jennifer A. Doudna – Facts – 2020. NobelPrize.org. Nobel Prize Outreach AB 2021. Sat. 2 Oct 2021. <https://www.nobelprize.org/prizes/chemistry/2020/doudna/facts/>

para cada hebra de la doble hélice.

En general, los CRISPR son familias de secuencias de ADN en bacterias. Estas secuencias contienen fragmentos de ADN de virus que han atacado a las bacterias y que son utilizados por la bacteria para detectar y destruir el ADN de nuevos ataques de virus similares.

De esta manera, las investigadoras pudieron crear una herramienta que era adecuada para cortar cualquier molécula de ADN en un sitio predeterminado. La aplicación de las tijeras de genes CRISPR / Cas9 pueden conducir a nuevos descubrimientos científicos, mejores cultivos y nuevas armas en la lucha contra el cáncer y las enfermedades genéticas. El uso de las CRISPR / Cas9 permite introducir o modificar el código en el transcurso de unas pocas semanas.

Claes Gustafsson, presidente del Comité Nobel de Química expresó que “hay un poder enorme en esta herramienta genética, que nos afecta a todos. No solo ha revolucionado la ciencia básica, sino que también ha dado lugar a cultivos innovadores y dará lugar a nuevos tratamientos médicos innovadores”.

Durante los estudios de Emmanuelle Charpentier sobre

Streptococcus pyogenes, descubrió una molécula previamente desconocida, tracrRNA o ARNtracr. Esta es una unidad pequeña de ARN, conocida como “trans-activating CRISPR que es esencial para su funcionamiento y es parte del antiguo sistema inmunológico de las bacterias, CRISPR / Cas, que desarma los virus al escindir su ADN.

Charpentier publicó su descubrimiento en 2011. El mismo año, inició una colaboración con Jennifer Doudna, una bioquímica experimentada con un vasto conocimiento del ARN. Juntos, lograron recrear las tijeras genéticas de las bacterias en un tubo de ensayo y simplificaron los componentes moleculares de las tijeras para que fueran más fáciles de usar.

En un experimento que hizo época, luego reprogramaron las tijeras genéticas. En su forma natural, las tijeras reconocen el ADN de los virus, pero Charpentier y Doudna demostraron que podían controlarse para poder cortar cualquier molécula de ADN en un sitio predeterminado. Donde se corta el ADN, es fácil reescribir el código de la vida.

Desde que Charpentier y Doudna descubrieron las tijeras genéticas CRISPR / Cas9 en 2012, su uso se ha disparado. Esta herramienta ha contribuido a muchos descubrimientos importantes en

la investigación básica, y los investigadores de plantas han podido desarrollar cultivos que resisten el moho, las plagas y la sequía. En medicina, se están realizando ensayos clínicos de nuevas terapias contra el cáncer y el sueño de poder curar enfermedades hereditarias está a punto de hacerse realidad. Estas tijeras genéticas han llevado las ciencias de la vida a una nueva época y, en muchos sentidos, están aportando el mayor beneficio a la humanidad.

Premios Nobel de Física – 2020

En la Edición 2020, la Academia de Ciencias de Suecia resolvió otorgar esta distinción a tres investigadores consustanciados

televisión, cine y material impreso.

Los agujeros negros fueron predichos por Albert Einstein en el marco de la teoría de la

envergadura en la mitad del siglo XX y que ocupara la cátedra del famoso Isaac Newton, realizó numerosos estudios sobre este tema, los que tuvieron una gran influencia entre sus colegas y las



Roger Penrose, nació en 1931 en la ciudad de Colchester, Reino Unido. Se doctoró en el año de 1957 en la Universidad de Cambridge y es Profesor Emérito en la Universidad de Oxford.



Reinhard Genzel, nació en Bad Homburg vor de Höhe, Alemania en el año 1952. Alcanzó el grado de doctor en 1978 en la Universidad de Bonn, Alemania. Es director en el Max Planck Institute for Extraterrestrial Physics, Garching, Alemania y Profesor en la Universidad de California, EE.UU.



Andrea Ghez, nació en 1965 en la ciudad de Nueva York y en 1992 se doctoró en el Instituto de Tecnología, MIT, Pasadena, EE.UU. Es Profesor en la Universidad de California, Los Ángeles, EE.UU. Es la cuarta mujer en la historia en ser distinguida con el Premio Nobel de Física. Junto al Dr. Genzel, lidera a un grupo de astrónomos que, desde 1990, analiza una región llamada Sagitario A en el centro de la galaxia.

con el estudio de los agujeros negros.

Los agujeros negros han incentivado la imaginación de la población desde hace años, incluyendo a los niños y adolescentes por incorporarse en su lenguaje vía el material que consumen a través de la

relatividad hace unos 115 años.

Ya el genial Laplace había postulado en el siglo XIX que, si la gravedad de un cuerpo era muy elevada, la luz no podría escapar de él y se vería negro al observador.

Stephen Hawking, uno de los físicos teóricos de mayor

nuevas generaciones de físicos y cosmólogos.

En 2015, los físicos y cosmólogos publicaron la primera foto relacionada con un agujero negro y a partir de la mejora en los métodos de detección se ha avanzado notablemente en la comprensión de estos colosos del universo.

Este fue el tema central del Premio Nobel de Física 2020, compartido entre los Dres. Roger Penrose (50%), Andrea Ghez (25%) y Reinhard Genzel (25%).

La Royal Swedish Academy of Sciences, el 6 de octubre de 2020, reconoció al británico Roger Penrose "por el descubrimiento de que la formación de agujeros negros es una predicción sólida de la teoría general de la relatividad" y al alemán R. Genzel y a la estadounidense A. Ghez por sus estudios que brindan mayor información sobre el universo.

La contribución de Roger Penrose, físico y matemático, se sustenta en el descubrimiento de que la formación de agujeros negros es una predicción robusta de la teoría general de la relatividad de Einstein. Por su parte el reconocimiento a los profesores Ghez y Genzel por sus descubrimientos de la existencia de objetos supermasivos en el centro de nuestra galaxia.

David Haviland, presidente del Comité Nobel para Física, en su anuncio recalcó que "los descubrimientos de los galardonados de este año (2020) han abierto nuevos caminos en el

estudio de objetos compactos y supermasivos. Pero estos objetos exóticos todavía plantean muchas preguntas que piden respuestas y motivan futuras investigaciones. No solo preguntas sobre su estructura interna, sino también preguntas sobre cómo probar nuestra teoría de la gravedad en condiciones extremas en las inmediaciones de un agujero negro".

Premios Nobel de Química y de Física

2021

Comité Editorial

Los premios Nobel de Química y Física otorgados en 2021 fueron los siguientes:

Premios Nobel de Química – 2021

En la Edición 2021, el Premio Nobel de Química fue otorgado a los Dres. Benjamin List y David W. C. MacMillan por sus contribuciones a la síntesis orgánica quiral empleando unidades moleculares pequeñas como catalizadores.

El Dr. Benjamin List es investigador en el Max-Planck-



Institut für Kohlenforschung, Mülheim an der Ruhr, Alemania. Por su parte, el Dr. David W.C. MacMillan es investigador de la Universidad de Princeton, EE.UU.

El Comité reconoció en esta ocasión la contribución de los investigadores al desarrollo de la organocatálisis asimétrica en la que se utilizan moléculas orgánicas de bajo peso molecular como catalizadores en lugar de enzimas o metales, como es tradicional en este tipo de procesos.

Considerando que las moléculas biológicamente activas suelen ser quirales, la organocatálisis asimétrica es una técnica ampliamente

utilizada y especialmente importante para el desarrollo de compuestos farmacológicos de forma rápida y eficaz.

En las últimas dos décadas, la organocatálisis se ha desarrollado a una velocidad asombrosa. Con este tipo de procesos, se pueden construir desde nuevos productos farmacéuticos hasta moléculas que pueden capturar la luz en las células solares, con importantes beneficios para la sociedad.

El Dr. Benjamin List, nació el 11 de enero de 1968 en la ciudad de Frankfurt am Main, Alemania. Sus estudios de química los realizó en la Freie Universität Berlín. En 1997 se doctoró en la Goethe-Universität Frankfurt am Main. Desde 2005 es Director del Max-Planck-Institut für Kohlenforschung, Mülheim an der Ruhr, Alemania.

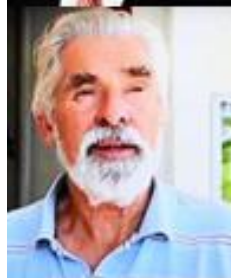
El Dr. David W.C. MacMillan, nació el 16 de marzo de 1968 en Bellshill, Escocia. Realizó sus estudios en la University of Glasgow. En 1990 se trasladó a EE.UU donde inició su tesis doctoral en la University of California, Irvine. Alcanzó el grado de doctor en 1996. USA. Desde 2006 es Profesor en la Princeton University, EE.UU.

Premios Nobel de Física – 2021

En esta edición, el Comité Nobel reconoció con este premio a los Dres. Syukuro Manabe, Japón, Klaus Hasselmann y Giorgio Parisi, Italia por sus contribuciones al “modelado físico del clima de la Tierra, cuantificando la variabilidad y prediciendo de manera confiable el calentamiento global”.

En esta ocasión, Manabe y Hasselmann comparten la mitad del premio en partes iguales y a Parisi le corresponde la otra mitad.

Los galardonados realizaron estudios de fenómenos caóticos y aparentemente aleatorios.



Syukuro Manabe y Klaus Hasselmann sentaron las bases de nuestro conocimiento del clima de la Tierra y cómo la humanidad influye en él. Giorgio Parisi fue recompensado por sus contribuciones revolucionarias a la teoría de materiales desordenados y procesos aleatorios.

Los sistemas complejos se caracterizan por la aleatoriedad y el desorden y son difíciles de entender. El premio de este año reconoce los nuevos métodos para describirlos y predecir su comportamiento a largo plazo.

Un sistema complejo de vital importancia para la humanidad es el clima de la Tierra. Syukuro Manabe demostró cómo el aumento de los niveles de dióxido

de carbono en la atmósfera conduce a un aumento de las temperaturas en la superficie de la Tierra. Su trabajo sentó las bases para el desarrollo de modelos climáticos actuales.

Klaus Hasselmann creó un modelo que vincula el tiempo y el clima, respondiendo así a la pregunta de por qué los modelos climáticos pueden ser confiables a pesar de que el clima es cambiante y caótico. Sus métodos se han utilizado para demostrar que el aumento de temperatura en la atmósfera se debe a las emisiones humanas de dióxido de carbono.

Alrededor de 1980, Giorgio Parisi descubrió patrones ocultos en materiales complejos desorde-

Syukuro Manabe, nació en 1931 en Shingu, Japón. Se doctoró en 1957 de la Universidad de Tokio, Japón. Es Meteorólogo Senior en la Princeton University, EE.UU.

Klaus Hasselmann, nació en 1931 en Hamburgo, Alemania. Se doctoró en 1957 Universität Göttingen, Alemania. Es profesor en el Max Planck Institut für Meteorologie, Hamburg, Alemania.

Giorgio Parisi, nació en 1948 en Roma. Italia. Se doctoró en 1970 de la Universidad de Roma La Sapienza, Italia, donde desarrolla sus actividades como Profesor. En esta ocasión, Manabe y Hasselmann comparten la mitad del premio en partes iguales y a Parisi le corresponde la otra mitad.

nados. Sus descubrimientos se encuentran entre las contribuciones más importantes a la teoría de sistemas complejos. Permiten comprender y describir muchos materiales y fenómenos diferentes y aparentemente completamente aleatorios, no sólo en la física sino también en otras áreas muy diferentes, como las matemáticas, la biología, la neurociencia y el aprendizaje automático.

“Los descubrimientos que se están reconociendo este año demuestran que nuestro conocimiento sobre el clima descansa sobre una base científica sólida, basada en un análisis riguroso de las observaciones. Todos los

galardonados de este año han contribuido a que obtengamos una visión más profunda de las propiedades y la evolución de los sistemas físicos complejos”, expresó Thors Hans Hansson, presidente del Comité Nobel de Física.

Homenaje a la Dra. Lydia Cascarini de Torre

Comité Editorial



El 15 de noviembre de 2020, en la localidad de Villa Elisa, La Plata, falleció la Dra. Lydia E. Cascarini de Torre.

Nació en la ciudad de La Plata, República Argentina, donde realizó sus estudios primarios y secundarios egresando de la Escuela Normal "Mary O'Graham" como Maestra Normal. Es Bachiller con título del Liceo Nacional de Señoritas "Mariano Acosta" de la Ciudad de Buenos Aires. En la Universidad Nacional

de La Plata (UNLP), efectuó sus estudios universitarios, licenciándose en Química y posteriormente doctorándose en la Facultad de Química y Farmacia. También realizó la Carrera Docente en la UNLP con ciclo completo y tesis aprobada. En esa casa de estudios continuó sus actividades académicas (docencia e investigación) alcanzando la máxima posición como Profesor Titular con Dedicación Exclusiva.

Fue investigadora en el Instituto de Investigaciones Físicoquímicas Teóricas y Aplicadas (INIFTA), dependiente de la Facultad de Ciencias Exactas de la Universidad Nacional de La Plata y patrocinado por el Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET).

Se desempeñó como investigadora de la Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires (CICPBA), alcanzando la categoría de Principal hasta su jubilación. En el INIFTA contri-

buyó al desarrollo y crecimiento de la sección de Adsorción Física.

Contribuyó a la formación de recursos humanos, de los cuales, se destacó el Dr. Eduardo Botani, recordado miembro de la AQA en sus funciones de Secretario y del Comité Editorial de los Anales de la Asociación Química Argentina.

En el aspecto docente y, paralelamente, con sus tareas en la Universidad, se preocupó por el mejoramiento de la enseñanza y, fundamentalmente, de las ciencias y de la Química en particular. Con ese fin organizó y dictó cursos para profesores de enseñanza media, maestras e inspectores de los distintos servicios educativos del país, con el patrocinio de la OEA, de la Dirección Nacional de Educación Media y Superior, de la CICPBA y Ministerios de Educación de distintas provincias.

Participó activamente en la organización de importantes reuniones nacionales e interna-

cionales auspiciadas por IUPAC y diversas universidades.

Formó parte del comité editorial de importantes publicaciones dedicadas a la Educación en Química como el Anuario Latinoamericano de Educación Química (ALDEQ). Estuvo integrada al Comité de redacción de Industria y Química y de la revista latinoamericana de Educación Química de la Federación Latinoamericana de Asociaciones Químicas (FLAQ).

En la Asociación Química Argentina (AQA) fue la primera presidente de la División de Enseñanza de la Química, cargo que desempeñó entre 1984 y 2001.

Formó parte de la Comisión Directiva de la AQA y fue vicepresidente de la misma entre los años 1984 y 2001 y formó parte del Órgano de Fiscalización.

Desde 1986 fue representante nacional y posteriormente miembro titular del Comité de

Educación Química de IUPAC (1998-2001).

Mantuvo importantes relaciones internacionales, fundamentalmente con las Universidades españolas de Santiago de Compostela, Oviedo, La Coruña, Santander y Valencia, además con las de Marsella, La Sapienza y Surrey entre otras, y en Argentina con las Universidades Nacionales del Centro de la Provincia de Buenos Aires, del Litoral, de Rosario, de San Luis, de Salta y de Bahía Blanca.

Conjuntamente con investigadores de la Universidad de Santiago de Compostela fue miembro organizador de las Maestrías en Didáctica de las Ciencias Experimentales en las Universidades del Litoral y del Centro de la Provincia de Buenos Aires.

Dirigió el ciclo Tele-enseñanza entre los años 1969 y 1970, que se emitiera por Canal 11.

En 1993 fue cofundadora del Grupo de Especialistas Universitarios de Enseñanza de la Química y en este marco le cupo la organización de las reuniones sobre Enseñanza Universitaria de la Química, siendo las primeras de índole nacional en el año '93 y transformándose luego en internacionales a partir del año 1999.

Figura en el Diccionario Biográfico de Mujeres Argentinas, editado por Sosa de Newton, Editorial Plus Ultra, en el año 1986.

Su fallecimiento nos priva de una persona de una cultura impresionante, amante de la música y la literatura, pasiones que volcara en su hijo, Germán Torre, reconocido organista activo actualmente en la región de Como, Italia.

Homenaje al Prof. Dr. Alejandro J. Arvía

Comité Editorial



El 22 de abril de 2021, en la ciudad de La Plata, falleció el Dr. Alejandro J. Arvía. Había nacido en esta ciudad el 14 de enero de 1928. Realizó sus estudios en el Colegio Nacional y en 1951 se recibió como Licenciado en Química. Su trabajo de tesis lo realizó en la Facultad de Ciencias Físico-Matemática bajo la dirección del Dr. O. Ferrari. Rápidamente se incorporó al entonces Instituto Superior de Investigaciones (ISI) dirigido por el Prof. Hans. J. Schumacher. Su formación académica la inició desde muy joven. Desde 1954 se desempeñó como Profesor de la Universidad Nacional de La Plata, actividad que desarrolló en forma continuada en la Facultad de Ciencias Exactas (ex Facultad de Química y Farmacia) hasta su jubilación, en 1992, como

Profesor Titular con dedicación exclusiva.

En 1962 ingresó a la carrera del investigador del CONICET, donde alcanzó la jerarquía de Investigador Superior en 1972. Su trayectoria fue reconocida tanto en el CONICET y la UNLP, designándolos como Investigador Emérito y Profesor Emérito respectivamente. Su jubilación no impidió que continuara desarrollando una prolífica actividad científica hasta años recientes.

En 1978, en el marco del Primer Congreso Argentino de Físicoquímica, fue uno de los responsables de la creación de la Asociación Físicoquímica Argentina y su primer presidente.

La valía académica del Prof. Dr. A.J. Arvía ha sido reconocida tanto a nivel nacional como internacional. Su actividad central, en casi 50 años de actividad científica ininterrumpida, se desarrolló en el campo de la Físicoquímica y, en particular, en el área de la Electroquímica y Físicoquímica de Superficies. En esta disciplina realizó una amplia gama de contribuciones que

abarcan desde aspectos básicos hasta aplicados.

Simultáneamente contribuyó a la formación de numerosos becarios, investigadores y profesionales argentinos y de otros países de América Latina.

Es autor principal de más de 700 publicaciones científicas, la mayoría en revistas de difusión internacional y de alto índice de impacto. A esto deben sumarse 5 libros y 9 capítulos de libros y numerosas publicaciones técnicas dirigidas al sector tecnológico y/o industrial. Registra dos patentes vinculadas a nuevos procedimientos electroquímicos para generar superficies estables mono-orientadas de metales nobles, resultado de sus investigaciones en electroquímica y electro-catálisis.

Desde mediados de 1980 tuvo un papel relevante al introducir en el INIFTA la microscopía de efecto túnel y la microscopía de fuerzas atómicas, incluyendo la caracterización de superficies metálicas y estructuras de electrodo a nivel atómico, así como su posterior aplicación en problemas de superficies y ciencia de los

materiales, incluyendo la aplicación de la teoría de los fractales a superficies rugosas. De esta manera sentó las bases del desarrollo de las nanociencias en la UNLP y en el país.

En 1973, sucedió al Prof. Dr. Hans J. Schumacher en la dirección del Instituto de Investigaciones Físicoquímicas Teóricas y Aplicadas (INIFTA) y entre 1975 y 2003 se desempeñó como director de esa institución.

Ha cumplido diferentes funciones de jerarquía en distintos cargos relacionados con la promoción de la actividad científica, tanto en el CONICET y en la Comisión de Investigaciones Científicas (CIC) de la Provincia de Buenos Aires - donde se desempeñó por un período como su Presidente-, como también responsable argentino de la coordinación de proyectos multinacionales, tales como el Programa Multinacional de Química de la Organización de los Estados Americanos (OEA) y de proyectos de cooperación científica con Universidades de América Latina y Europa. Fue coordinador Argentino del Comité ECOS-SECyT para la cooperación científica entre Argentina y Francia.

Fue miembro asociado de la International Union of Pure and Applied Chemistry (IUPAC), miembro de la Comisión de Electroquímica de IUPAC (1983-1991), miembro del Bureau de

IUPAC (1983-1987), Asesor de la UNESCO para el Programa de Química de Chile (1984-1986), miembro del Comité de Nominaciones de la Third World Academy of Sciences (TWAS), etc.

Actuó como Vicepresidente de la International Society of Electrochemistry -ISE- (1987-1989), Presidente Electo del ISE entre 1991-1992, su Presidente entre 1993 y 1995, y past-Presidente durante 1995.

Su capacidad en la formación de recursos humanos se vio reflejada en la dirección de más de 90 becarios y 26 investigadores argentinos y de otras nacionalidades. Bajo su responsabilidad se ejecutaron más de 50 trabajos de tesis doctoral. El Prof. Dr. A.J. Arvia ha sido artífice del desarrollo de la Electroquímica en Argentina, extendiéndose su influencia a otras Universidades Latinoamericanas. A través del programa establecido entre la TWAS y el CONICET, dirigió los trabajos de investigación de Profesores Visitantes de distintos países con menor grado de desarrollo de la electroquímica, tales como Uruguay, Chile, Jamaica, Congo, Arabia Saudita y Bangladesh.

Recibió numerosas distinciones en reconocimiento a su extensa actividad académica y científica. Fue distinguido con los premios

"J.J.J Kyle" (1983) y Hans J. Schumacher (1992) de la AQA.

En 1985 fue condecorado por el Gobierno Francés como "Chevalier" de la Orden "des Palmes Académiques". Ha recibido la Medalla J. Heyrovsky (Distinguished Scientist) en el marco del 41st ISE Meeting (1990). En 1992 fue investido como Doctor Honoris Causa de la Universidad Autónoma de Madrid, España. En 1997 fue honrado con la TWAS (Third World Academy of Sciences) Medal Lecture. Sus contribuciones al campo de la electroquímica fueron reconocidas al haber recibido la "Pergamon Gold Medal", otorgada por todas las Sociedades de Electroquímica del mundo (2001), y el Premio "Galvani", otorgado por la Sociedad Electroquímica Italiana.

Fue Vicepresidente de la Third World Academy of Sciences, Presidente de la Academia Nacional de Ciencias Exactas, Física y Naturales de Argentina, miembro de la Academia de Ciencias de América Latina y miembro correspondiente de la Academia de Ciencias de las Islas Canarias.

Con su fallecimiento, la ciencia argentina pierde a uno de sus referentes más eminentes en el campo de la fisicoquímica y de la electroquímica cuya actividad delineó a esta disciplina en la segunda mitad del siglo XX.

Homenaje al Dr. Isaac Marcos Cohen

Comité Editorial



El 7 de agosto de 2021, falleció el Prof. Dr. Isaac Marcos Cohen, quien se desempeñará como Miembro de la Comisión Directiva y Prosecretario de AQA.

Nació el 16 de mayo de 1944. Egresó de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de la Universidad de Buenos Aires, donde también se doctoró. Se desempeñó durante muchos años en diversos cargos en la Comisión Nacional de Energía Atómica.

El Dr. Cohen se destacó por su investigación en el campo de la Radioquímica y Aplicaciones de la Química Nuclear, especialidad en la que formó recursos humanos y desarrolló nuevos procesos.

También fue director de la Maestría en Radioquímica de la Universidad Tecnológica Nacional (UTN Buenos Aires) y Profesor Titular de la materia Radioquímica y Aplicaciones Nucleares de la Carrera de Ingeniería Química, director del Centro de Tecnologías Químicas y director del Doctorado en Ingeniería-Mención Tecnologías Químicas.

Fue director de la revista "Rumbos Tecnológicos" de la UNT.

Fue consultor en calidad de experto en distintos países y en el Organismo Internacional de Energía Atómica. Fue evaluador de la CONEAU, ANPCyT y del Instituto Nacional de Normalización de Chile.

Publicó cerca de 200 trabajos en revistas con arbitraje y/o presentaciones a congresos nacionales e internacionales.

En 2019 recibió el Premio Consagración "Dr. Aldo Mitta" en Radioquímica, otorgado por la AQA. En su discurso, sobre el valor de la investigación aconsejaría "a los jóvenes que sigan

buscando respuestas y traten de obtenerla, pero nunca pierdan ese deseo".

Los colaboradores, amigos y todo aquel que tuvo la oportunidad de tratarlo, supieron de su dedicación a la investigación y desarrollo, su cordialidad, sentido del humor, compromiso por la verdad y, fundamentalmente, por su amor al prójimo.

NUEVA SEDE DE LA AQA

