

***MEMORIAS
DE LA
REAL ACADEMIA SEVILLANA DE CIENCIAS
2020-2021***

© Real Academia Sevillana de Ciencias
Año de publicación: 2022

EDITA:
Real Academia Sevillana de Ciencias

IMPRIME:
Impresión León - Utrera (Sevilla)

DEPÓSITO LEGAL:
SE-1990/91

I.S.S.N.:
2530-1829

AGRADECIMIENTOS

La publicación de este volumen de MEMORIAS ha sido posible gracias a la financiación parcial prestada por la Fundación Cajasol. A esta institución desea expresar esta Real Academia su agradecimiento.

Fundación | Cajasol

ÍNDICE

2020

Relación de miembros de la Real Academia Sevillana de Ciencias a 31 de diciembre de 2020	13
Memoria de la Real Academia Sevillana de Ciencias del año 2020	17

DISCURSOS

Palabras del Excmo. Sr. D. José Luis de Justo Alpañés, Presidente de la Real Academia Sevillana de Ciencias, en el acto de apertura del curso 2020- 2021, el día 14 de diciembre de 2020	23
“Geometría, simetría y otras cosas sutiles en el procesado superficial de materiales”, por el Ilmo. Sr. D. Agustín Rodríguez González-Elipe. Discurso de toma de posesión el día 13 de febrero de 2020	27
Discurso de contestación al del profesor Rodríguez González Elipe, por el Ilmo. Sr. D. Javier Fernández Sanz, el día 13 de febrero de 2020	47

CONFERENCIAS

“Las Reales Atarazanas de Sevilla”, por el profesor José Luis de Justo Alpañés	53
“La Filosofía ante la crisis actual en la Física teórica”, por el profesor Francisco Soler Gil	75
“Congresos internacionales de Farmacia”, por el profesor Agustín García Asuero.....	95
“Energía de la luz: Electricidad sin fuego”. Conferencia del Ilmo. Sr. D. Antonio Gómez Expósito en el “Ciclo sobre la luz”	193

- “Caracterización numérica de brotes de COVID-19: datos y ratios”. Conferencia del Ilmo. Sr. D. Antonio Gómez Expósito en mesa redonda sobre COVID-19 215

SESIONES CIENTÍFICAS

- “Mejor prevenir que curar: Puertos deportivos y especies exóticas”, por la profesora Macarena Ros Clemente 227

MARTES DE LA ACADEMIA

Las conferencias proyectadas a partir del 14 de marzo fueron suspendidas por la pandemia de COVID-19 hasta nuevo aviso.

SESIONES NECROLÓGICAS

Sesión necrológica en honor del

Ilmo. Sr. D. Guillermo Paneque Guerrero,

académico numerario de la Real Academia Sevillana de Ciencias

- Palabras de Nicolás Bellinfante Crocci (profesor de Cristalografía, Mineralogía y Química Agrícola de la US), glosando la figura de D. Guillermo Paneque como profesor e investigador 239
- Palabras de Benito Valdés Castrillón (presidente del Instituto de Academias de Andalucía) respecto a la actividad académica del Prof. Paneque 245
- “Vivir a ras de suelo”, por Patricia Paneque Macías (profesora de Edafología y Química Agrícola de la US e hija del Prof. Paneque), en representación de la familia 249

Nota: Respecto a los Premios a Investigadores Jóvenes, la Real Maestranza de Caballería de Sevilla comunica este año a la Academia, la suspensión de todo tipo de actos públicos hasta nuevo aviso.

2021

- Relación de miembros de la Real Academia Sevillana de Ciencias a 31 de diciembre de 2021 257
- Memoria de la Real Academia Sevillana de Ciencias del año 2021 261

DISCURSOS

“Los colores de las plantas”, conferencia inaugural en el acto de apertura del curso 2021-2022, el día 4 de octubre de 2021, por el Excmo. Sr. D. Benito Valdés Castrillón	267
--	-----

CONFERENCIAS

“Algunas consideraciones históricas sobre las Nanociencias, las Nanotecnologías y la Nanoanalítica (Nanoanalytics)”, por el profesor Agustín García Asuero	299
“Vuelta al mundo y resultados científicos de la expedición de Magallanes”, por el profesor Javier Almarza Madrera	369
“Introducción de la ciencia en la Nueva España. Colaboración con la independencia de México, 1821”, por el profesor Manuel Castillo Martos	389
“Cambio climático y energías renovables”. Palabras del profesor José Luis de Justo Alpañés como moderador	411
“Transición energética y energías renovables”, por el profesor Antonio Gómez Expósito	415
“Metro de Sevilla: Desde su gestación hasta su pretendida sustitución por una red de tranvías”, por el profesor José Luis de Justo Alpañés	429
“Alfonso X, el rey de Castilla y el hombre de su tiempo, 1221-1284”, por el profesor Manuel García Fernández, en el acto conmemorativo del octavo centenario del nacimiento de Alfonso X	443
Intervención del profesor Javier Fernández Sanz en la mesa redonda en torno al ensayo “¿Qué somos?”, del profesor José Luis Manzanares Japón	451

*MEMORIAS
DE LA
REAL ACADEMIA SEVILLANA DE CIENCIAS
2020*

RELACIÓN DE MIEMBROS DE LA REAL ACADEMIA SEVILLANA DE CIENCIAS A 31 DE DICIEMBRE DE 2020

JUNTA DE GOBIERNO Y ACADÉMICOS NUMERARIOS

JUNTA DE GOBIERNO

Presidente: Excmo. Sr. Dr. D. José Luis de Justo Alpañés (13/02/96)

Vicepresidente: Ilmo. Sr. D. Miguel Ángel de la Rosa Acosta (05/11/15)

Secretario: Ilmo. Sr. Dr. D. Joaquín Rodríguez Vidal (25/11/19)

Tesorero: Ilmo. Sr. Dr. D. Alfonso Jiménez Martín (18/03/03)

Bibliotecario: Ilmo. Sr. Dr. D. Javier Fernández Sanz (20/04/17)

Presidentes de las Secciones:

Biología: Ilmo. Sr. Dr. D. Francisco García Novo (16/10/89)

Ciencias de la Tierra: Juan Cornejo Suero (26/03/07)

Física: Ilmo. Sr. Dr. D. José Javier Brey Abalo (16/12/97)

Matemáticas: Ilmo. Sr. Dr. D. Luis Narváez Macarro (01/02/00)

Química: Ilma. Sra. Dra. Dña. Rosario Fernández Fernández (28/04/14)

Tecnología: Excmo. Sr. D. Jaime Domínguez Abascal (20/10/14)

ACADÉMICOS DE NÚMERO

Sección de Biología

Ilmo. Sr. Dr. D. Andrés Aguilera López (14/12/2017)

Ilmo. Sr. Dr. D. Miguel García Guerrero (01/04/08)

Ilmo. Sr. Dr. D. Francisco García Novo (16/10/89)

Ilmo. Sr. Dr. D. José López Barneo (13/09/2004)

Ilmo. Sr. D. Miguel Ángel de la Rosa Acosta (05/11/15)

Excmo. Sr. Dr. D. Benito Valdés Castrillón (13/11/90)

Sección de Ciencias de la Tierra

Ilmo. Sr. Dr. Juan Cornejo Suero (26/03/07)

Ilma. Sra. D^a. María del Carmen Herмосín Gaviño (22/11/18)

Ilmo. Sr. Dr. D. Diego de la Rosa Acosta (13/05/13)

Ilmo. Sr. D. Joaquín Rodríguez Vidal (25/11/2019)

Sección de Física

- Ilmo. Sr. Dr. D. José Javier Brey Abalo (16/12/97)
- Ilmo. Sr. Dr. D. Alejandro Conde Amiano (15/06/04)
- Ilmo. Sr. Dr. D. Arturo Domínguez Rodríguez (07/05/07)
- Ilmo. Sr. Dr. D. José Luis Huertas Díaz (27/11/06)
- Excmo. Sr. Dr. D. Rafael Márquez Delgado (26/05/86, Fundador)

Sección de Matemáticas

- Ilmo. Sr. Dr. D. Juan Arias de Reyna Martínez (01/12/88)
- Ilmo. Sr. Dr. D. Tomás Domínguez Benavides (27/06/95)
- Ilmo. Sr. Dr. D. Enrique Fernández Cara (25/04/17)
- Excmo. Sr. Dr. D. Rafael Infante Macías (26/05/86, Fundador)
- Ilmo. Sr. Dr. D. Luis Narváez Macarro (01/02/00)
- Excmo. Sr. Dr. D. Antonio Pascual Acosta (11/12/03)
- Ilmo. Sr. Dr. D. José Luis de Vicente Córdoba (26/05/86, Fundador)

Sección de Química

- Ilma. Sra. Dra. Dña. Rosario Fernández Fernández (28/04/14)
- Ilmo. Sr. Dr. D. Javier Fernández Sanz (20/04/17)
- Ilmo. Sr. Dr. D. Francisco Sánchez Burgos (22/10/02)

Sección de Tecnología

- Excmo. Sr. Dr. D. Javier Aracil Santonja (21/11/95)
- Excmo. Sr. Dr. D. José Luis de Justo Alpañés (13/02/96)
- Excmo. Sr. D. Jaime Domínguez Abascal (20/10/14)
- Ilmo. Sr. Dr. D. José Domínguez Abascal (09/04/02)
- Ilmo. Sr. D. Antonio Gómez Expósito (02/06/2014)
- Ilmo. Sr. Dr. D. Alfonso Jiménez Martín (18/03/03)
- Ilmo. Sr. Dr. D. José Luis Manzanares Japón (17/12/96)

ACADÉMICOS ELECTOS

- D. Agustín Rodríguez González-Elipe
- D. Pedro Jordano Barbudo

ACADÉMICOS CORRESPONDIENTES

Ilmo. Sr. Dr. D. Joan Bertrán i Rusca, Barcelona (04/05/2009)
Ilmo. Sr. Dr. D. José Casas Vázquez (03/05/2005), Barcelona (03/05/2005)
Excmo. Sr. D. Manuel Catalán Pérez de Urquiola, San Fernando, Cádiz (05/03/1996)
Ilmo. Sr. D. Jacques Castaing, París (15/06/2009)
Ilmo. Sr. Dr. D. Nácere Hayek Calil, Santa Cruz de Tenerife (16/05/1991)
Ilmo. Sr. D. Manuel Martín Lomas, San Sebastián (16/04/2007)
Ilmo. Sr. Dr. D. Manuel Pastor Pérez, Madrid (11/03/2010)
Ilmo. Sr. Dr. D. Rafael Pérez Álvarez-Osorio, Madrid (19/11/1991*)
Ilmo. Sr. D. Vicente Rives Arnau, Salamanca (28/06/2010)
Excmo. Sr. Dr. D. Juan Manuel Rojo Alaminos, Madrid (17/12/2008* - 05/06/2012)
Ilmo. Sr. Dr. D. Sebastián Vieira Díaz, Madrid (25/05/2009)

ACADÉMICOS DE HONOR

Excmo. Sr. Dr. D. Avelino Corma Canos (18/05/2005)
Ilmo. Sr. Dr. D. Federico García Moliner (06/11/2006)
Ilmo. Sr. Dr. D. Jean-Marie Lehn (29/05/2007)
Excmo. Sr. D. Robert Huber (19/05/2016)

ACADÉMICOS SUPERNUMERARIOS

Excmo. Sr. Dr. D. Ernesto Carmona Guzmán (18/05/06)
Excmo. Sr. Dr. D. Enrique Cerdá Olmedo (26/05/86, Fundador)
Ilmo. Sr. Dr. D. Carlos M. Herrera Maliani (23/10/06)
Excmo. Sr. Dr. D. Manuel Losada Villasante (26/05/86, Fundador)
Ilmo. Sr. Dr. D. Guillermo Munuera Contreras (02/02/05)
Excmo. Sr. Dr. D. José María Trillo de Leyva (25/01/94)
Ilmo. Sr. Dr. D. Manuel Zamora Carranza (22/05/91)

Las fechas entre paréntesis se corresponden con el día de toma de posesión, a excepción de aquellas marcadas con asterisco, que se corresponden con la fecha de ingreso en las distintas categorías de Académicos.

MEMORIA DE LA REAL ACADEMIA SEVILLANA DE CIENCIAS DEL AÑO 2020

1. TOMAS DE POSESIÓN Y PRESENTACIONES DE ACADÉMICOS

El 13-02-2020, tuvo lugar el acto de admisión como numerario del académico electo D. Agustín Rodríguez González-Elipe en el Instituto de Ciencias de Materiales de Sevilla. Impartió su discurso sobre “Geometría, simetría y otras cosas sutiles en el procesado superficial de materiales”.

2. ACTOS SOLEMNES

Acto de apertura, curso 2020-2021

Tuvo lugar el 14 de Diciembre de 2020 en el salón de actos de la Facultad de Física, retransmitida por el Servicio de Medios Audiovisuales de la Universidad de Sevilla. Pronunció una conferencia el Prof. D. Tomás Domínguez Benavides, con el título: *El tamaño y el número: Conjuntos pequeños y resultados “casi” ciertos.*

3. CURSOS Y SIMPOSIOS

En el ciclo de “Historia y Filosofía de la Ciencia y de la Técnica”, que se celebra anualmente en colaboración con la Facultad de Química de la Universidad de Sevilla, se impartieron las siguientes conferencias durante 2020:

- 20 de enero: *Las Reales Atarazanas de Sevilla*, por D. José Luis de Justo Alpañés.
- 27 de enero: *La Energía*, por D. Manuel Zamora Carranza.
- 17 de febrero: *La Filosofía ante la crisis actual en la Física Teórica*, por D. Francisco Soler Gil.
- 24 de febrero: *Apuntes sobre el desarrollo histórico del método científico*, por D. José Manuel Ferreirós Domínguez.
- 2 de marzo, *Congresos internacionales de Farmacia: Creación de la Federación Internacional Farmacéutica (F.I.P.)*, por D. Agustín García Asuero.
- 9 de marzo: *Robert J. Oppenheimer: Los apremios éticos del padre de la bomba atómica*, por D. Juan Arana Cañedo-Argüelles.

Las restantes conferencias programadas fueron suspendidas.

4. SESIONES CIENTÍFICAS

Durante el año 2020 se celebraron las siguientes:

- El 13 de enero de 2020 se desarrolló la conferencia llamada *Mejor prevenir que curar: puertos deportivos y especies exóticas*, por la Dra. D^a. Macarena Ros Clemente, Premio de la Real Academia Sevillana de Ciencias a Investigadores Jóvenes (convocatoria de 2018).
- El 22 de enero de 2020, el Prof. D. Aníbal Ollero Baturone, catedrático de Sistemas y Automática de la US y Premio Rei Jaume I de Nuevas Tecnologías 2019, impartió la conferencia *Manipulación robótica aérea: estado y retos actuales*.
- El 29 de enero de 2020, el Prof. D. José Luis Tirado Coello, Catedrático de Química Inorgánica de la Universidad de Córdoba, pronunció la conferencia *Una batería para salvar al mundo*, en un acto organizado conjuntamente con la Facultad de Química de la US y celebrado en el salón de grados de dicha facultad.

5. CONFERENCIAS DEL CICLO “LOS MARTES DE LA ACADEMIA”

La Academia, cumpliendo con uno de los objetivos fundamentales que tiene establecidos, el de divulgación de la Ciencia, organizó, como viene haciendo habitualmente, un ciclo de conferencias en colaboración con el Excmo. Ateneo de Sevilla. Como es costumbre, las conferencias tuvieron lugar en el Ateneo y fueron las siguientes:

- *El origen del platino y su descubrimiento por el Almirante Antonio de Ulloa*, por D. Ernesto Carmona Guzmán (21 de enero de 2020).
- *Complejidad y transmisión de la información: Más allá de los genes*, por D. Andrés Aguilera López (4 de febrero de 2020).

El resto de conferencias (proyectadas a partir del 14 de marzo) fueron suspendidas, por acuerdo del Vicesecretario del Ateneo, D. Manuel Ríos Pérez y el Presidente de la Academia, hasta nuevo aviso.

6. OTRAS ACTIVIDADES

Sesión necrológica en honor de D. Guillermo Paneque Guerrero

El 12 de marzo tuvo lugar la sesión necrológica en recuerdo de D. Guillermo Paneque en la Facultad de Química. Intervinieron el Presidente, el Excmo. Sr. D. Benito

Valdés Castrillón, que habló sobre su faceta como académico, el Prof. D. Nicolás Bellinfante Crocci, como profesor e investigador y la Prof. Dña. Patricia Paneque Macías, en representación de la familia.

Ciclo sobre la luz

Se organizó un ciclo de conferencias sobre la luz, patrocinado por el Instituto de Academias de Andalucía y con la participación de las Academias de Ciencias de Granada y Málaga y de la Real Academia Sevillana de Ciencias. Este ciclo, previsto en principio para el mes de mayo, fue finalmente programado para los días 16 y 17 de septiembre de 2020. Intervinieron, por parte de la Academia, D. Miguel Ángel de la Rosa Acosta y D. Antonio Gómez Expósito, respectivamente con las conferencias *La luz en Biología: Fotosíntesis y Energía de la luz: Electricidad sin fuego*. Se ha editado un libro sobre este ciclo, titulado “La luz, vida, ciencia y progreso”. (Los Académicos interesados en conseguir un ejemplar deberán solicitarlo en la secretaría).

Premios a Investigadores Jóvenes 2020

Respecto a los Premios a Investigadores Jóvenes, se ha comunicado a la Academia por parte de la Real Maestranza de Caballería de Sevilla, la suspensión de todo tipo de actos públicos hasta nuevo aviso.

7. PREMIOS Y HONORES

- El domingo 2 de febrero, el Ayuntamiento de Aracena entregó la medalla de la ciudad al Prof. D. Rafael Márquez Delgado, Presidente Honorario de la Academia.
- Con motivo del Día de la Comunidad Andaluza, la Delegación del Gobierno de la Junta de Andalucía otorgó al Prof. D. Andrés Aguilera López el Premio “Bandera de Andalucía”, con el que se reconoce y distingue los méritos y acciones que tienen como referencia la solidaridad y el trabajo en beneficio de la ciudadanía de la provincia, por ser un referente internacional en la investigación sobre la inestabilidad genómica que alcanzan enfermedades de alta propensión al cáncer.

8. OTROS ASUNTOS

- Desde el miércoles 25 de marzo hasta el lunes 18 de mayo, la sede de la Academia permaneció cerrada debido a las directrices del Gobierno y de la Universidad de Sevilla. Se está trabajando en un entorno virtual para las próximas reuniones.

- Se ha celebrado un convenio de colaboración entre la Universidad Pablo de Olavide y la Real Academia Sevillana de Ciencias. Con tal motivo, se ha llevado a cabo, con fecha 14 de octubre, una primera actividad: una mesa redonda sobre el coronavirus, con participación de tres ponentes por parte de la Academia (D. Antonio Gómez Expósito, D. José Luis de Justo Alpañés y D. Miguel Ángel Muniaín Ezcurra, Académico Numerario de la Real Academia Sevillana de Medicina, designado por D. José López Barneo entre sus colaboradores) y tres por parte de la Universidad Pablo de Olavide.
- Según lo acordado en Junta General, se ha solicitado al Excmo. Sr. Rector de la Universidad de Sevilla y a los Ilmos. Sres. Decanos de las Facultades de Ciencias, apoyo para el cambio de nombre del Museo de Geología de la Universidad de Sevilla, que pasaría a llamarse *Museo de Geología “Emilio Galán” de la Universidad de Sevilla*.
- El 28 de septiembre de 2020, se celebró una Junta de Gobierno en la sede de la Academia, en la cual se apoyó la solicitud del Colegio de Ingenieros Industriales de solicitar dar el nombre “*Profesor Luis Salvador Martínez*” a una calle de la ciudad de Sevilla.
- El Presidente de la Academia, en su calidad de tal, ha escrito varios artículos publicados en Diario de Sevilla en 2020, en las siguientes fechas y con los siguientes títulos: 29 de febrero: “Un mundo feliz” (Tribuna de Opinión); 10 de abril: “Algunas consideraciones sobre el coronavirus”; 19 de abril: “Estimación del número de infectados por el coronavirus”; 1 de mayo: “La marcha de la Infección del coronavirus”; 6 de julio: “Fray Junípero Serra y California (I)” (Tribuna de Opinión); 7 de julio: “Fray Junípero Serra y California (y II)” (Tribuna de Opinión); 26 de julio: “Los casos de Covid-19 en España” (Análisis); 5 de agosto: “Los estudios de seroprevalencia y el número de contagiados”; 30 de septiembre: “El número real de fallecidos y contagiados en España, Andalucía y Sevilla”; 12 de noviembre: “SARS-CoV-2 versus Homo Sapiens”; 21 de noviembre: “Letalidad en el Covid-19”.
- Se ha editado recientemente el volumen 22 de las Memorias de la Academia.

El Secretario,
Enrique Fernández Cava

DISCURSOS

APERTURA DEL CURSO 2020-2021

*Discurso pronunciado por el
Excmo. Sr. D. José Luis de Justo Alpañés,
presidente de la Real Academia Sevillana de Ciencias,
en el acto semipresencial celebrado en la Facultad de Física
el día 14 de diciembre de 2020*

Sr. Decano de la Facultad de Física, Vicerrectores de la UPO, Laura López de la Cruz y José Antonio Sánchez Medina, queridos compañeros:

Tengo que decir, en primer lugar, que agradezco la total disponibilidad del Decano y el Vicedecano de Infraestructuras de la Facultad de Física para celebrar este acto semipresencial en su sede, y añadir que la primera apertura de curso de la Real Academia Sevillana de Ciencias se celebró en esta Facultad para el curso 2004-2005.

El Sr. Secretario ha dado cumplida cuenta de las actividades de nuestra Academia durante el curso 2019-2020. Se puede decir que el año 2020, como en la Universidad de Sevilla y como en toda España ha venido marcado por la pandemia

Durante el año 2020, se impartieron dos de las conferencias de los Académicos galardonados con los Premios para Jóvenes Investigadores de la convocatoria de 2018, pero hubo que aplazar la tercera que debía impartir María Ramos Payán el día 2 de junio. La última conferencia impartida en el ciclo de Historia y Filosofía de la Ciencia fue la correspondiente a Juan Arana el lunes 9 de marzo, pero no se pudieron impartir las tres últimas conferencias de este ciclo, que se celebra en la Facultad de Química, pues esta estuvo cerrada por la Universidad de Sevilla hasta mucho después. En cuanto a los Martes de la Academia, se impartieron las dos primeras conferencias del año 2020, pero no se pudieron impartir las tres conferencias restantes por el cierre del Ateneo, donde se celebraban. Tampoco se ha visto la posibilidad de continuar con esta actividad en estos meses del año, porque el Ateneo no reúne las condiciones sanitarias necesarias, por lo que estas conferencias se han aplazado indefinidamente.

La Jornada sobre el metro de Sevilla que tendría lugar el 4 de marzo, debido a la pandemia posterior, tuvo que ser aplazada hasta el jueves 21 de mayo de 2021.

Se ha solicitado a la Universidad de Sevilla y a los Decanos de Ciencias su apoyo para el cambio de nombre del Museo de Geología de la Universidad de Sevilla, que pasaría a llamarse Museo de Geología “Emilio Galán” de la Universidad de Sevilla. Hemos recibido el apoyo de los Decanos, pero, debido a la pandemia, este tema ha permanecido dormido.

El 21 de enero, en nuestra sede, impartió una conferencia Aníbal Ollero Baturone, catedrático de la ETSI, entre otras muchas cosas, y premio Rey Jaime I de Nuevas

Tecnologías 2019 sobre “Manipulación robótica aérea: estado y retos actuales”. Es el investigador que recibe más fondos europeos, y en general internacionales, de la Universidad de Sevilla.

Con motivo del premio Nobel a los descubridores de la batería de ion litio, el miércoles 29 de enero, el catedrático de la Universidad de Córdoba José Luis Tirado Coello, impartió una magnífica conferencia sobre la batería de ion litio, de título “Una batería para salvar el mundo”, en un acto organizado por la Facultad de Química y nuestra Academia y celebrado en el salón de grados de la Facultad de Química.

El domingo 2 de febrero, el Ayuntamiento de Aracena entregó las medallas de la ciudad a nuestro presidente Honorario Rafael Márquez Delgado

El 13 de febrero tuvo lugar el acto de admisión como Académico numerario del Académico electo de Agustín Rodríguez González-Elipse en el Instituto de Ciencias de Materiales de Sevilla, que impartió su discurso “Geometría, simetría y otras cosas sutiles en el procesado superficial de materiales.

El 12 de marzo tuvo lugar la sesión necrológica en recuerdo de Guillermo Paneque en la Facultad de Química.

Desde el miércoles 25 de marzo hasta el lunes 18 de mayo, ha estado cerrada la Academia debido a las directrices del Gobierno para combatir a la pandemia y de la Universidad de Sevilla, pues la sede de la Academia está en terrenos de esta Universidad.

Se ha organizado un ciclo de conferencias sobre la luz, patrocinado por el Instituto de Academias de Andalucía y con la participación de las Academias de Ciencias de Granada y Málaga y de la Real Academia Sevillana de Ciencias. Este ciclo se celebró, por fin, los días 16 y 17 de septiembre, de forma semipresencial, en la Academia de Antequera. Por lo que respecta a la RASC, Miguel Ángel de la Rosa Acosta impartió su conferencia sobre “La luz en Biología (fotosíntesis)” a las 11:30, y Antonio Gómez Expósito sobre “Energía fotovoltaica (la energía del siglo XXI)” a las 12:30. Se está editando un libro con los resultados de estas conferencias.

Debido a la pandemia, en 2020 no se ha podido celebrar el acto de entrega de los Premios para Jóvenes Investigadores, convocatoria de 2019, que se ha aplazado hasta encontrar mejor ocasión. Por el mismo motivo, no se ha convocado el premio correspondiente a 2020.

Se ha firmado un protocolo general de colaboración con la Universidad Pablo de Olavide

La primera actividad conjunta ha sido una mesa redonda sobre el coronavirus, con participación de tres ponentes por parte de la RASC: (Antonio Gómez Expósito, José Luis de Justo Alpañés y Miguel Ángel Muniaín Ezcurra, Académico Numerario de la Real Academia Sevillana de Medicina, designado por José López Barneo dentro de sus colaboradores) y tres por parte de la Olavide. Se celebró el día 14 de octubre.

El día 28 de noviembre, se ha celebrado, en Málaga, en modo semipresencial, la apertura del curso de Academias de Andalucía.

Sí tenemos la intención de continuar con nuestras conferencias en el ciclo de Historia y Filosofía de la Ciencia y de la Técnica, que se celebran en colaboración con la Facultad de Química. Estas conferencias suponen, para los asistentes, créditos válidos

para los cursos de doctorado de dicha Facultad. La Sra. Decana ha aprobado las fechas para el Curso de Historia y Filosofía de la Ciencia y la Técnica, inauguración el lunes 26 de abril, y continuar los lunes 3, 10, 17, 24, 31 de mayo, 7 y 14 de junio, día de la clausura. Se han comprometido los siguientes conferenciantes:

- JOSÉ LUIS DE JUSTO ALPAÑÉS: “La evolución del Covid-19 en España, Andalucía y Sevilla”.
- AGUSTÍN GARCÍA ASUERO: “Algunas consideraciones históricas sobre las Nanociencias, las Nanotecnologías y la Nanoanalítica (Nanoanalytics)”.
- JUAN ARANA CAÑEDO-ARGÜELLES: “Pierre Duhem, científico y filósofo a caballo entre los siglos XIX y XX”.
- ANTONIO ROSELLÓ SEGADO: “Negaciones de los químicos”.
- JAVIER ALMARZA MADRERA: “Vuelta al mundo y resultados científicos de la expedición de Magallanes”.
- FRANCISCO SOLER GIL: “Las reflexiones de Hermann von Helmholtz sobre las condiciones filosóficas y académicas de la investigación científica”.
- MANUEL CASTILLO MARTOS: “Introducción de la ciencia en la Nueva España. Colaboración con la independencia de México, 1821”.
- ISMAEL YEBRA SOTILLO: “La mentalidad científica y el espíritu académico”.

En 2020 se está editando el tomo el tomo 22 de las Memorias.

Seguimos usando las instalaciones de la Universidad de Sevilla, y, en particular, las de las Facultades de Química y Física, para nuestros actos.

Se ha mejorado notablemente la página web y se ha comenzado con el tema de la grabación de las conferencias. Se ha incluido en la página una zona restringida a Académicos. Se han digitalizado las Memorias de la Academia, con la ayuda de la Fundación Ayesa, que, además nos ha facilitado muebles en perfectas condiciones, colocados y gratis y se ha convertido, junto con la Real Maestranza de Caballería, las Universidades de Sevilla y la Fundación Cajasol en casi los únicos mecenas no folklóricos de la ciudad.

Nuestra apertura de curso está siendo transmitida por TVUS <http://tv.us.es/category/centros/fisica-centros/>, gracias a la intercesión de la Facultad de Física, que, además, la va a grabar.

Nuestro anterior Secretario, Joaquín Rodríguez Vidal ha dimitido por motivos de salud. Le deseamos una pronta mejoría y le agradecemos los servicios prestados.

Ha sido nombrado Secretario provisional el Académico Numerario Enrique Fernández Cara, que está desarrollando una importante labor en pro de la creación de una plataforma virtual.

No me queda más que agradecer de nuevo a la Facultad de Física, a los Vicerrectores de la UPO y a los Académicos que han acudido con su asistencia presencial o telemática.

Muchas gracias. Se levanta la sesión.

GEOMETRÍA, SIMETRÍA Y OTRAS COSAS SUTILES EN EL PROCESADO SUPERFICIAL DE MATERIALES

*Discurso de toma de posesión
como académico numerario de la
Real Academia Sevillana de Ciencias por el
Ilmo. Sr. D. Agustín Rodríguez González-Elipe,
celebrado el día 13 de febrero de 2020*

Suele ser la actividad profesional de los científicos una labor discreta y reservada que, sin embargo, no está exenta de la influencia de la vanidad y el deseo de notoriedad. El reconocimiento por los pares, los colegas de profesión, es, en este sentido, un estímulo importante que no deja de ser un acicate para el trabajo y la actividad de los que nos dedicamos a la Ciencia. Siendo inevitable el que tal reconocimiento se produzca, el mérito del mismo no debe achacarse a la persona reconocida sino al contexto y circunstancias que han propiciado los logros alcanzados y los trabajos realizados. Análogamente, ese reconocimiento debe servir para visualizar la actividad desarrollada, mostrando a la sociedad y a nuestros colegas de otras disciplinas los nuevos desarrollos y logros que van surgiendo del cultivo de la disciplina científica a la que nos dedicamos. Estas reflexiones iniciales vienen al caso de justificar mi intención de que este discurso represente tanto una ocasión privilegiada para expresar mi agradecimiento personal a la Academia por el nombramiento recibido, como para aprovecharla a modo reivindicativo de la disciplina científica a la que me dedico, la *Ciencia y Tecnología de Materiales* y, más en concreto, la *Ingeniería de Superficies* a la que he prestado mi esfuerzo profesional durante cerca de veinticinco años.

A) SOBRE LOS MATERIALES

Siguiendo el texto bíblico de “los últimos serán los primeros”, comenzaré estas digresiones por la parte final del título de este discurso: *el procesado de materiales* y la disciplina que, supuestamente, ampara el término *La Ciencia de Materiales*. Excusándome frente a mis compañeros químicos que han tenido la iniciativa de nominarme a miembro de esta academia en la sección de Química, he de decir que los *Materiales*, en el sentido en que le damos los que trabajamos en esa disciplina, responden a conceptos híbridos, con perfiles borrosos, montados a horcajadas de la Química, la Física, la Ingeniería e, incluso, la Biología.

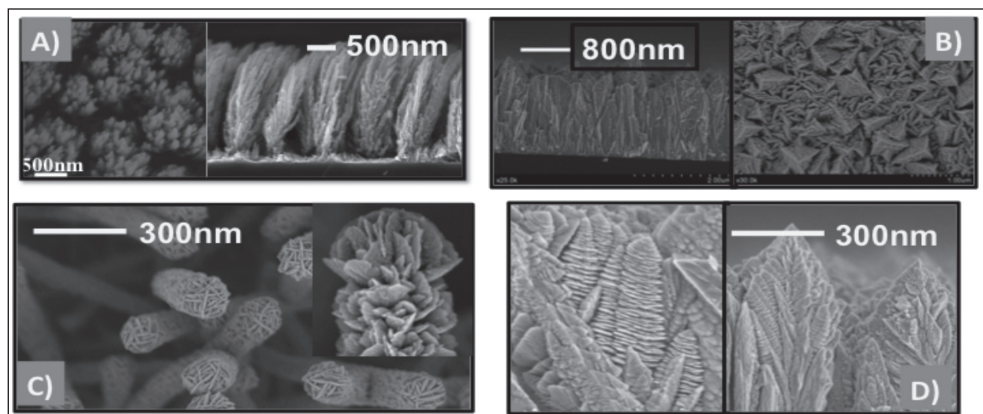
A pesar del carácter ubicuo de los materiales en nuestra vida diaria (baste percatarse del uso constante de plásticos, metales, vidrios, dispositivos y componentes electrónicos, maderas procesadas y un largo etcétera, en nuestros hábitos de vida modernos, o de la cantidad de materiales de última generación que se encuentran en el instrumento icónico de nuestro tiempo, el teléfono móvil) no es evidente que la *Ciencia de Materiales* tenga los perfiles clásicos que se otorgan a las disciplinas aceptadas típicamente como “científicas” y sí, los resultantes de un mestizaje entre ciencia y técnica. Según el especialista en semiótica Yuri Lotman (1994), “*lo nuevo en la técnica es la realización de lo que se esperaba, mientras que en la Ciencia y en el Arte es la realización de lo inesperado*” (1). La *Ciencia de Materiales* es tributaria de una tensión entre estos dos polos definidos por la Ciencia y la Técnica. Simplificando, en esta disciplina se suele trabajar con elementos y componentes conocidos para obtener un producto nuevo con una forma específica y una función y aplicación determinadas. Por ejemplo, un gran número de ciudadanos llevamos gafas para corregir defectos de visión. En general, todas las gafas están fabricadas de un mismo o parecido componente, seguramente un plástico de alta prestaciones, pero cada una de ellas está procesada de manera diferente para ajustar sus dioptrías a las necesidades del usuario o dotarlas de unas propiedades antirreflectantes específicas gracias a una capa superficial antirreflectante que es singular en cada caso.

Pensando en un hilo conductor para organizar los conceptos básicos que quería compartir en esta breve exposición, las ideas fuerza que reiteradamente han venido a mi argumentario son la de *trabajo*, en su acepción más directa de trabajo manual, y la de *artesanía*, esta última en contraposición a la de *Arte*, entendido este último concepto como actividad superior de expresión cultural. En esta disyuntiva cabe decir que la actividad científica en Materiales, en *Ciencia y Tecnología de Materiales*, no puede entenderse sin un componente esencial de *fabricación de componentes*, de montaje de artilugios y de desarrollo de procedimientos para modular la materia de forma que adquiera ciertas propiedades y proporcione ciertas prestaciones. Es decir, según procedimientos que en su base están muy próximos a los del trabajo manual de operarios como el herrero, el carpintero o el vidriero. Sin duda estos oficios tradicionales son a la Ciencia de Materiales lo que fueron los alquimistas en relación con la evolución hacia una Química moderna. En *Ciencia de Materiales* un elemento básico es el *procesado*, entendido como el conjunto de procedimientos requeridos para dotar a la materia de una forma concreta que permita la expresión de ciertas propiedades y prestaciones que no son alcanzables con otras formas del mismo material. ¡Qué curiosa la coincidencia de esta idea con la concepción de *Aristóteles* y, posteriormente, el dualismo filosófico sobre las ideas de materia y forma y su extensión en *Santo Tomás* y la filosofía cristiana en los de alma y cuerpo! En *Ciencia de Materiales*, el trabajo de procesar la materia según formas específicas, puede considerarse como equivalente a la acción del artesano, carpintero o herrero de otras épocas, para fabricar objetos utilitarios de uso diario. Para ello hay que desarrollar herramientas específicas (hoy hablaríamos más propiamente de metodologías) que permitan procesar un sólido de composición definida, de forma que presente un orden y estructura internos tales que propicie el desarrollo de propiedades singulares y nuevas. A esta organización peculiar de la materia en escalas por encima

de la atómica, y a la que se le considera responsable de la aparición de propiedades singulares se le suele llamar *microestructura*. La **Figura 1** ilustra este concepto con la presentación de una serie de imágenes de diversas capas de óxido de titanio (pigmento esencial en pinturas o componente activo de las cremas solares), cada una de ellas caracterizada por una microestructura diferente y que ha sido obtenida mediante una técnica o metodología de procesado específica.

FIGURA 1

EJEMPLOS DE DIFERENTES MICROESTRUCTURAS O FORMAS DE AGREGACIÓN EN CAPAS DE TiO_2 PREPARADAS MEDIANTE DIFERENTES MÉTODOS. A): IMÁGENES DE MICROSCOPIA ELECTRÓNICA EN VISTA NORMAL Y TRANSVERSAL DE AGREGADOS NANOMÉTRICOS EN FORMA DE NANO-ARBUSTO. B) ÍDEM CAPA COLUMNAR COMPACTA PARCIALMENTE CRISTALIZADA. C) ÍDEM NANO-FIBRAS. D) ÍDEM EN FORMA DE NANO-AGUJAS Y NANO-LÁMINAS. UN ASPECTO ESENCIAL EN CIENCIA DE MATERIALES ES DESARROLLAR MÉTODOS DE PROCESADO QUE PERMITAN CONTROLAR LA MICROESTRUCTURA DE LOS MATERIALES PREPARADOS



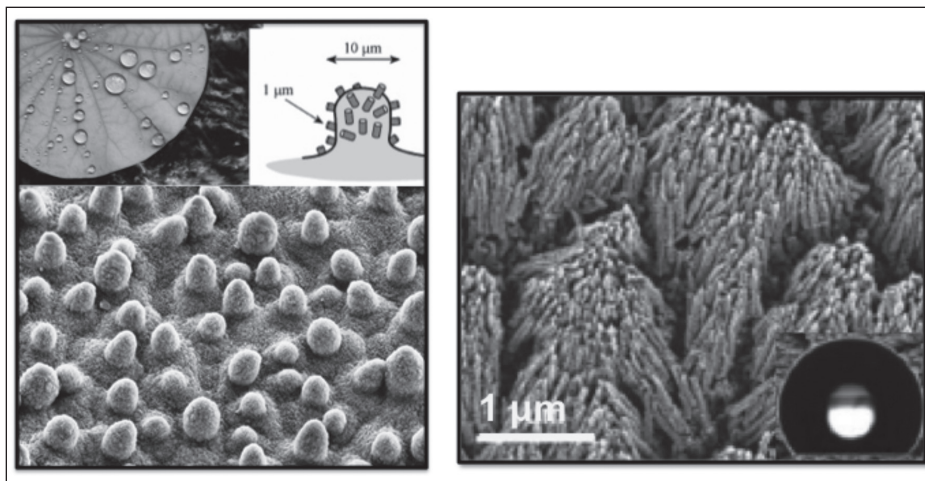
Conviene aquí diferenciar entre los conceptos de *Material* y el de *Sólido*. Este último es básico en Química o Física del Estado Sólido y posee como característica básica una organización definida a escala atómica (es decir, en dimensiones dentro del rango de los Angstroms¹) que se caracteriza por una *Estructura* cristalina tridimensional y extensa muy bien definida. Mientras, la característica básica de los materiales es que poseen una *Microestructura* dada, entendida como una organización a escala superatómica (en el rango de los nano o micrómetros) que puede o no asentarse sobre una organización atómica ordenada. A partir de estas consideraciones, resulta pertinente referirnos a otra de las palabras del título de esta disgresión, la *Simetría*. El orden atómico presente en los Sólidos y compuestos químicos de composición definida puede describirse según criterios de *Simetría*, bien de carácter puntual o traslacional, que son exponentes del orden y

1. Angstrom es equivalente a 10^{-8} cm, 10^{-1} nm y 10^{-4} micras

correlación de los átomos que se integran en los mismos. Por el contrario, y aunque con excepciones notables, los materiales y sus superficies externas suelen presentar desorden local a escala atómica pero pueden reproducir orden y *simetría* a escalas superiores, generalmente en el rango de los nanómetros². En muchos casos, como ocurre de forma recurrente en muchas otras expresiones de la naturaleza, el caos aparente inherente a muchos materiales adopta formas fractales, autoafines o de doble estructuración, siendo esas mismas formas las que dotan al material y sus superficies de una funcionalidad específica. En la imagen de la **Figura 2** se presenta una estructura superficial de nanoestructuras de óxido de Zinc que mimetiza a la que presenta la superficie de la hoja de Loto, conocida porque las gotas de agua no mojan su superficie al adquirir una forma esférica y deslizarse sobre la misma. Esta cualidad es el resultado de una doble estructuración, a escalas nano y micro, que convierte la superficie en “superhidrofóbica”. Los materiales biomiméticos, como la superficie descrita en esta figura, son capaces de reproducir las propiedades de sistemas biológicos, siendo este principio de imitación biomimético un criterio de síntesis ampliamente utilizado en *Ciencia de Materiales*.

FIGURA 2

IZDA.) IMAGEN DE UNA HOJA DE LOTO CARACTERIZADA POR SU CARÁCTER SUPERHIDROFÓBICO QUE EVITA QUE EL AGUA “MOJE” SU SUPERFICIE, DESLIZÁNDOSE SOBRE LA MISMA EN FORMA DE GOTA REDONDEADA QUE ARRASTRARA TODO EL POLVO O PARTÍCULAS QUE PUEDEN ESTAR DEPOSITADOS. SE CONSIDERA QUE LAS HOJAS DE LOTO SIEMPRE ESTÁN LIMPIAS DEBIDO A ESTE EFECTO. IMAGEN DE MICROSCOPIA ELECTRÓNICA DE BARRIDO DE LA SUPERFICIE DE LA HOJA DE LOTO Y ESQUEMA ILUSTRANDO QUE PRESENTAN UNA DOBLE ESCALA DE RUGOSIDAD, EN EL RANGO DE LAS MICRAS Y LOS CIENTOS DE NANOMETROS, MICROESTRUCTURA A LA QUE SE ATRIBUYE SU CARÁCTER SUPERHIDROFÓBICO. DRCHA.) IMAGEN DE MICROSCOPIA ELECTRÓNICA DE UNA SUPERFICIE FORMADA POR NANOFIBRAS DE ZNO QUE PRESENTA UNA DOBLE ESCALA DE RUGOSIDAD E IMAGEN ÓPTICA DE UNA GOTA DE AGUA SOBRE SU SUPERFICIE MOSTRANDO SE CARÁCTER SUPERHIDROFÓBICO.(2)



2. nm es equivalente a 10^{-7} cm o 10^{-3} micras. Un criterio de comparación con objetos de la vida diaria es el espesor de una hoja de papel de aluminio, generalmente 30 micras, es decir, 30.000 nms

B) SOBRE EL PROCESADO SUPERFICIAL DE MATERIALES

Un truco sutil, que tiene que ver con la economía más que con la tecnología o la propia *Ciencia de Materiales*, consiste en modificar la superficie de los materiales para dotarlos de propiedades diferenciadas de las de su masa. De esta forma se consiguen aunar, a precio razonable, las propiedades de la masa del material con otras específicas asociadas a su superficie. La disciplina que, a modo de artesanía científica engloba el desarrollo de metodologías y procedimientos para el procesado superficial de materiales, suele denominarse como *Ingeniería de Superficies*. Una característica de la mayoría de las metodologías y procedimientos empleados en esta disciplina es la utilización de *tecnologías de vacío y plasmas*.

Hagamos un breve paréntesis para referirme a los *plasmas*. Si algo caracteriza al pensamiento griego clásico es su gran intuición. Según su concepción del mundo, el universo está formado por cuatro elementos básicos: el agua, el aire, la tierra y el fuego. El fuego presenta alguna de las características de lo que aquí llamamos *plasma* o gas ionizado y hoy sabemos que, a escala cósmica, es el estado más abundante de la materia observable y accesible mediante la inspección astronómica. Este mismo estado de plasma, en su forma de plasma frío, es el que, sobre todo a partir del gran científico y premio nobel de Química *Irving Langmuir*, se utiliza en el laboratorio para el procesado superficial de materiales. En un gas en forma de plasma existen iones y electrones libres, así como otras especies excitadas muy reactivas. La interacción de estas especies con la superficie de los materiales da lugar una gran cantidad de fenómenos físico-químicos que pueden utilizarse para su procesado superficial y la consecución de propiedades singulares. Fue *Langmuir*, en el primer tercio del siglo XX, quien desarrolló los conceptos básicos sobre los plasmas fríos y su interacción con las superficies de los materiales que han permitido el desarrollo de las herramientas modernas de procesado superficial basadas en esta tecnología (3). A lo largo de esta presentación mostraremos algunos ejemplos del uso de la tecnología de plasma y vacío para el procesado superficial de materiales. En nuestra vida diaria son numerosísimos los objetos y materiales en cuyo procesado superficial intervienen las tecnologías de vacío y plasmas. Baste citar como ejemplos los envases de plástico para alimentos que evitan la difusión de oxígeno y agua, las capas duras de aspecto dorado que recubren brocas y otros instrumentos mecánicos para aumentar su dureza, los recubrimientos bajo-emisivos incorporados en vidrios de ventana para evitar la transmisión de radiación infrarroja, recubrimientos duros y transparentes en vitrocerámicas o el procesado de las pantallas de ordenadores y televisión, entre muchos otros.

De forma natural, las técnicas de vacío y plasmas que menciono se vinculan con *Heráclito*, con lo que él intuía como característica básica de la naturaleza, el cambio y el caos, fenómenos que hoy día se abordan desde los principios de la Física Estadística y Atómica. Todo el esfuerzo de un procesado inteligente o, usando una expresión pedante de la moda científica del momento, “procesado a la carta”, de la superficie de los materiales consiste en controlar esos elementos de aleatoriedad de la tecnología de plasma para lograr una organización *microestructura* superficial determinada. En términos de

la *Ciencia de Materiales*, se trata de conseguir una microestructura superficial diseñada a “priori” de forma que sus componentes básicos se organicen dando lugar a la *microestructura* que interese para alcanzar una prestación específica. En términos clásicos, ello es equivalente a pasar de *Heráclito* o el caos y el cambio a escala atómica a *Parménides* o *Demócrito* la organización y ordena escala superatómica o, en términos modernos, usar la Física para hacer Química o Ingeniería.

En *Tecnología de Superficies* es muy común la fabricación de *láminas delgadas* usando estos métodos de vacío y plasmas, capas superficiales con espesores por debajo de la micra, pero con propiedades específicas bien diferenciadas (los recubrimientos oftálmicos antirreflectantes a los que me referí previamente, los recubrimientos duros o superhidrofóbicos que repelen el agua y un gran número de otras aplicaciones caen dentro de esta categoría). Usando tecnologías de vacío y plasmas específicas, se pueden fabricar capas delgadas enviando átomos del material a depositar en forma de capa sobre la superficie del sustrato que se está modificando. El uso de condiciones de baja presión (es decir, de vacío) en el recinto en que se hace este proceso es condición necesaria para evitar que estos átomos o partículas interaccionen con moléculas de gas antes de llegar a la superficie y se dispersen antes de depositarse sobre el sustrato. En todo caso, el carácter de aleatoriedad del movimiento de esas partículas en términos de su velocidad, energía o dirección, debe ser objeto de una modulación muy precisa usando diversas estrategias experimentales para conseguir una microestructura determinada.

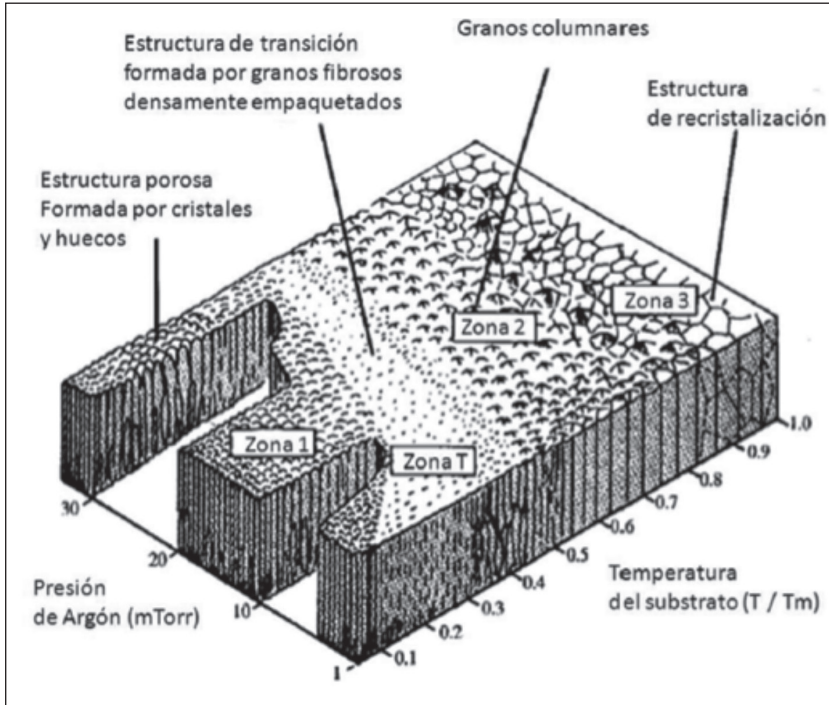
El objetivo de controlar los procesos de crecimiento es el desarrollo de *microestructuras* superficiales diferentes cuya naturaleza depende de una gran variedad de condiciones de proceso, como pueden ser la temperatura del sustrato o la presión residual en el recinto. El modelo de *Thorpton*, desarrollado en 1974 (4), puede considerarse un hito clásico que sigue siendo una referencia para describir los procesos de micro-estructuración de capas delgadas preparadas mediante métodos de vacío y plasmas. Ese modelo sistematiza el tipo de microestructuras que se pueden conseguir según la temperatura del sustrato y la presión residual en la cámara de trabajo. En el esquema de la **Figura 3** se observa cómo la microestructura columnar de la capa varía en función de la temperatura y de la presión residual del recinto donde se hace el experimento, pasando de una microestructura formada por una agrupación de nanocolumnas estrechas y compactas a columnas más grandes y cristalinas. En todos los casos, las columnas están compactadas y las capas tienen poca o nula porosidad, una cualidad muy apreciada en aplicaciones mecánicas o en aplicaciones ópticas.

C) CAPAS DELGADAS CRECIDAS EN GEOMETRÍA OBLICUA. MICROESTRUCTURA

Una manera de jugar nuevas cartas para lograr una transmutación radical de la microestructura de las capas depositadas no reside en cambiar la temperatura, ni las características químicas de los átomos o partículas, ni siquiera mejorar el vacío, consiste en modificar la *Geometría*, el primer término que aparece en el título de este discurso,

FIGURA 3

MODELO DE ZONAS DE ESTRUCTURAS DE THORNTON (4). EL MODELO DA CUENTA DE LA EVOLUCIÓN DE LA MICROESTRUCTURA DE LÁMINAS DELGADAS PREPARADAS MEDIANTE PULVERIZACIÓN CATÓDICA Y DESCRIBE EL EFECTO DE LA TEMPERATURA DEL SUSTRATO (T) Y DE LA PRESIÓN DE TRABAJO SOBRE LA MICROESTRUCTURA DE LAS CAPAS. AUNQUE EL MODELO NO ES DIRECTAMENTE APLICABLE A OTRAS TÉCNICAS DE PROCESADO DE CAPAS DELGADAS, LAS IDEAS CONTENIDAS EN SU FORMULACIÓN SE UTILIZAN EN OTRAS CONDICIONES Y SIRVEN PARA ILUSTRAR COMO LAS VARIABLES DEL PROCESO AFECTAN A LA MICROESTRUCTURA DE LAS CAPAS PROCESADAS.



durante el proceso de crecimiento. Es decir, hacer que el sustrato sobre el que crecemos la capa no esté enfrentado perpendicularmente, sino formando un ángulo rasante en geometría oblicua respecto de la dirección preferente de llegada de los átomos.

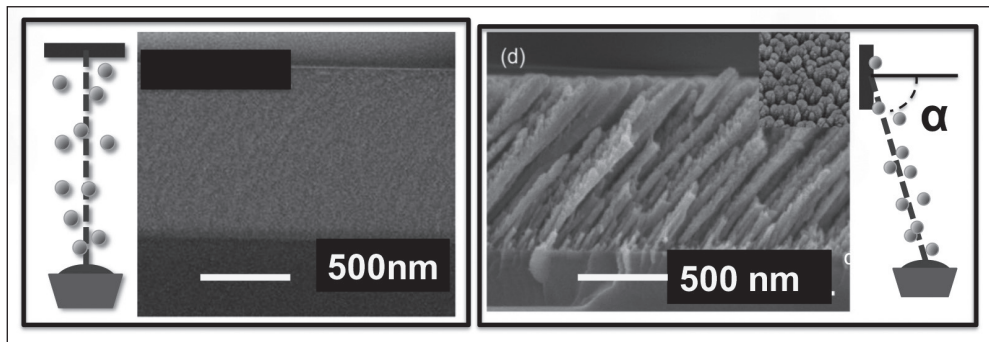
Noticias de este principio de procesado en ángulo oblicuo nos llegan de principios del siglo XX, cuando dos trabajos pioneros y posteriormente olvidados debidos a *Kampff* y *Bergholm* (5, 6) pusieron de relieve las posibilidades del crecimiento de capas en geometría oblicua para la fabricación de sistemas asimétricos con propiedades magnéticas singulares.

Como se observa en la *Figura 4*, esta disposición geométrica produce un cambio radical en la microestructura de la capa depositada, adoptando esta una forma columnar inclinada y, aparentemente, con una gran porosidad. Es curioso cómo un simple truco geométrico dentro del caótico proceso de llegada de átomos a una superficie es capaz de

modificar radicalmente la **microestructura** de las capas crecidas sobre el mismo. Como se verá a continuación, esta microestructura nanocolumnar y su alta porosidad pueden resultar de gran utilidad para una gran variedad de aplicaciones.

FIGURA 4

IZDA) IMAGEN DE MICROSCOPIA ELECTRÓNICA EN SECCIÓN TRANSVERSAL DE CAPAS PREPARADAS SOBRE UN SUSTRATO COLOCADO EN POSICIÓN PARALELA RESPECTO DE LA FUENTE DE PARTÍCULAS EN PROCESOS DE DEPOSICIÓN FÍSICA EN FASE VAPOR TAL Y COMO SE MUESTRA EN EL ESQUEMA; EN ESTAS CONDICIONES, LAS PARTÍCULAS LLEGAN PERPENDICULARES AL SUSTRATO Y LA CAPA RESULTANTE PRESENTA UNA ALTA DENSIDAD Y COMPACIDAD. DRCHA) ÍDEM COLOCANDO EL SUSTRATO EN UNA CONFIGURACIÓN DE GEOMETRÍA OBLICUA RESPECTO DE LA DIRECCIÓN DE LLEGADA DE LAS PARTÍCULAS, TAL Y COMO SE MUESTRA EN EL ESQUEMA. EN ESTA CONFIGURACIÓN, LA DIRECCIÓN DE LLEGADA FORMA UN ÁNGULO α CON RESPECTO DE LA PERPENDICULAR AL SUSTRATO Y LA CAPA PRESENTA UNA MICROESTRUCTURA MUY POROSA FORMADA POR NANOCOLUMNAS INCLINADAS



Viene al caso aquí hacer un inciso para resaltar aspectos sutiles que, por analogía, pueden vincular la microestructura de capas preparadas en ángulo rasante y geometría oblicua, su simetría y modos de organización, con elementos estéticos propios de las formas de expresión artística clásica. Decía *Marinetti*, un controvertido poeta italiano creador del futurismo a principios del siglo pasado, que un coche de carreras circulando a alta velocidad era más bello que la Victoria de Samotracia, la famosa estatua alada del Louvre. Salvando las distancias y manejando la imaginación y un cierto entusiasmo por este tipo de capas delgadas, es posible realizar apreciaciones estéticas análogas con las capas delgadas preparadas según una geometría oblicua. En efecto, si se juega convenientemente con la geometría del sistema durante el crecimiento de las capas, la variedad de formas que es posible obtener es enorme, tal y como se puede observar en la serie de capas esculturales cuya microestructura se presenta en la **Figura 5** en forma de capas en zig-zag, hélices y otras formas singulares.

Estas y otras formas geométricas que pueden obtenerse mediante un procesado adecuado en geometría oblicua presentan gran simetría, orden y jerarquía en la nanoescala y representan un mundo geométrico con formas y simetrías singulares donde, permítan-

FIGURA 5

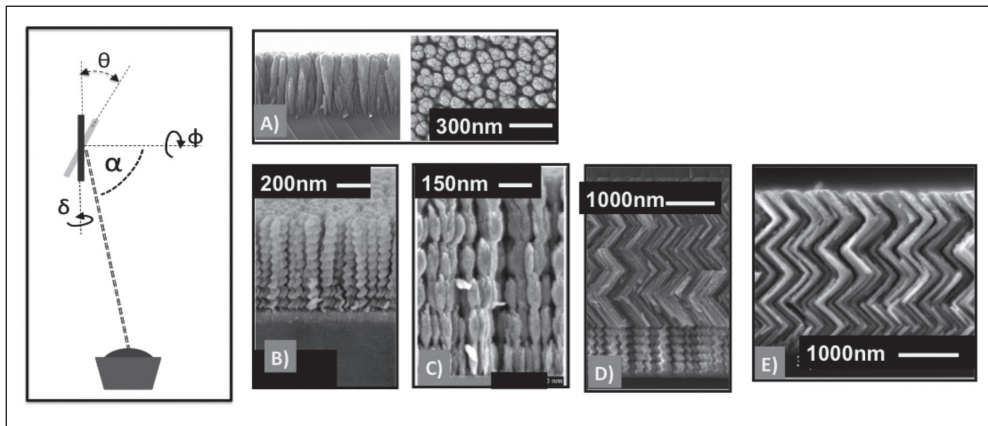
ESQUEMA DE FABRICACIÓN DE CAPAS EN GEOMETRÍA OBLICUA MOSTRANDO LA POSIBILIDAD DE VARIAR LOS ÁNGULOS α , δ , ϕ Y θ PARA MOLDEAR LA MICROESTRUCTURA DANDO LUGAR A LAS DENOMINADAS “CAPAS ESCULTURALES”.

A) IMÁGENES DE MICROSCOPIA ELECTRÓNICA DE BARRIDO EN SECCIÓN TRANSVERSAL Y EN VISIÓN NORMAL DE CAPAS CON NANOCOLUMNAS VERTICALES OBTENIDAS GIRANDO EL SUSTRATO A GRAN VELOCIDAD SEGÚN EL ÁNGULO AZIMUTAL ϕ .

B) ÍDEM DE CAPAS EN FORMA DE HÉLICES OBTENIDAS GIRANDO EL SUSTRATO DE FORMA LENTA SEGÚN EL ÁNGULO AZIMUTAL ϕ .

C) ÍDEM DE CAPAS NODULARES OBTENIDAS OSCILANDO INTERMITENTEMENTE SUSTRATO SEGÚN EL ÁNGULO θ , MIENTRAS SE GIRA SIMULTÁNEAMENTE SEGÚN EL ÁNGULO AZIMUTAL ϕ .

D) ÍDEM DE CAPAS ESCULPIDAS EN DOS NIVELES, UNO INFERIOR EN FORMA DE HÉLICE Y OTRO SUPERIOR EN FORMA DE “ZIG-ZAG”; ESTE ÚLTIMO SE OBTIENE POSICIONANDO ALTERNATIVAMENTE EL SUSTRATO EN DOS ORIENTACIONES AZIMUTALES GIRADAS 180° ALREDEDOR DE ϕ . E) ÍDEM DE UNA CAPA EN ZIG-ZAG.



me el atrevimiento, es posible reconocer elementos estéticos que reproducen algunos de los criterios de organización y simetría de ciertas obras de pictóricas clásicas.

Me involucré en el mundo de las capas delgadas en geometría oblicua en el año 2007, inspirado por un artículo de revisión de *Brett* (7,8), el científico canadiense que más ha contribuido a la expansión de este campo de investigación en Ciencia de Materiales e Ingeniería de Superficies. *Brett*, junto a *Lakahia*, *Hodgkinson* (9,10) y otros a partir de los años 90 del siglo pasado y, sobre todo, a partir de principios de este siglo, han propiciado una expansión notable de los procesos de síntesis de capas delgadas en geometrías de ángulo oblicuo. Jugando con la geometría y la simetría como elementos básicos del procesado de la capa delgada, se ha desarrollado una línea conceptual y metodológica nueva donde se han tratado tanto los principios básicos referidos a los mecanismos elementales de crecimiento (aquellos que transforman el caos aparente de las partículas en su trayectoria hasta el sustrato en el orden y simetría de las capas nanoestructuradas finales), como una panoplia amplísima de funcionalidades y aplicaciones finales.

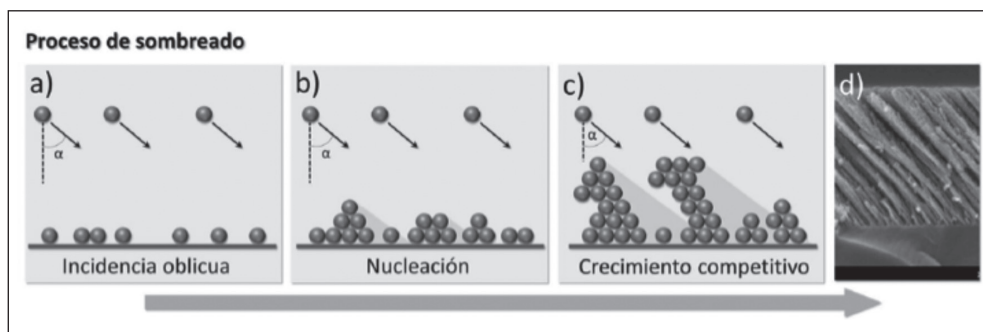
D) MECANISMOS DE NANOESTRUCTURACIÓN DE CAPAS DELGADAS CRECIDAS EN GEOMETRÍA OBLICUA

Un elemento básico de los mecanismos de nanoestructuración en las capas de geometría oblicua es el papel de *la sombra*, un principio que es bien conocido en las artes plásticas y en la música: la ausencia de algo o el silencio puede ser tan importante como los sonidos o elementos activos para el conjunto y la apreciación final de la obra de arte.

Veremos más adelante que los efectos de *sombra* y la gran cantidad de espacio vacío que genera en las capas delgadas de geometría oblicua son críticos para controlar sus propiedades y propiciar sus aplicaciones singulares. Resulta aquí pertinente describir cómo esta nanoestructura singular de las capas delgadas de geometría oblicua resulta de un mecanismo balístico en el que los núcleos o aglomeraciones iniciales formados sobre la superficie proyectan una zona de sombra nanométrica detrás de sí (*Figura 6*). Según este mecanismo, estos núcleos iniciales impiden la llegada de otros átomos incidentes en geometría oblicua a la zona posterior. Este mecanismo de *sombra* ha sido objeto de numerosísimos estudios y simulaciones teóricas (11) y tiene como resultado el crecimiento selectivo de los núcleos iniciales hasta la adopción de la nanoestructura columnar oblicua característica de estas capas.

FIGURA 6

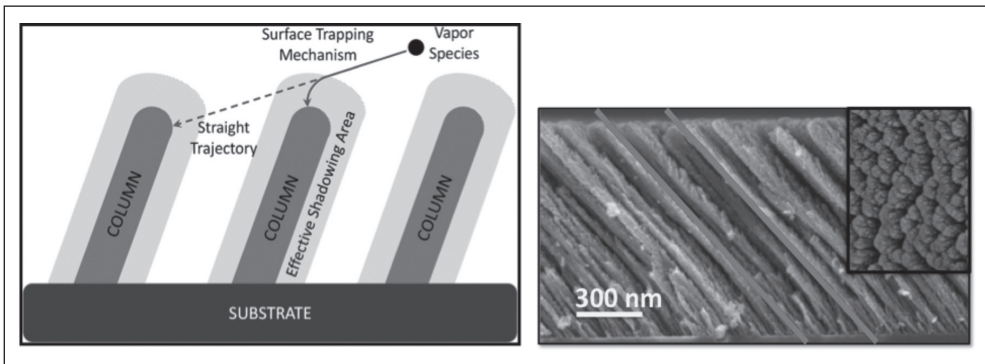
ESQUEMA DESCRIBIENDO EL CRECIMIENTO DE CAPAS DELGADAS NANOCOLUMNARES PREPARADAS EN GEOMETRÍA OBLICUA. LAS PRIMERAS PARTÍCULAS QUE LLEGAN A LA SUPERFICIE SE AGREGAN EN FORMA DE NÚCLEOS NANOMÉTRICOS (A, B) QUE PROYECTAN UNA SOMBRA RESPECTO DE LOS ÁTOMOS INCIDENTES QUE EVITA QUE ESTOS CUBRAN ESA ZONA DE LA SUPERFICIE (C). ESTA "SOMBRA" DA COMO RESULTADO EL CRECIMIENTO DE LAS NANO-COLUMNAS INCLINADAS QUE CARACTERIZAN ESTAS CAPAS (D)



Un análisis minucioso de la microestructura desarrollada pone de manifiesto diferencias importantes en el ángulo de inclinación de las nanocolumnas, un parámetro geométrico que depende tanto del ángulo oblicuo del sustrato respecto de las trayectorias de las partículas durante el proceso de crecimiento (ángulo α) como del tipo de material

depositado en cada caso. Cabe señalar que, pese a ser el ángulo de inclinación de las nanocolumnas el parámetro geométrico más característico de las capas delgadas preparadas en geometría oblicua, hasta muy recientemente no se han desarrollado modelos teóricos capaces de explicar y reproducir los resultados experimentales disponibles en la literatura. Una contribución significativa capaz de predecir el ángulo de las nanocolumnas de distintos materiales es el modelo de *atrapamiento* (12). Este modelo, desarrollado por nuestro grupo de investigación, propone que las partículas que pasan próximas a las nanocolumnas sufren una variación en su trayectoria y quedan atrapadas sobre aquellas en lugar de continuar su camino rectilíneo hasta la nanocolumna adyacente (**Figura 6b**). Mediante técnicas de Monte Carlo, este mecanismo ha permitido reproducir tanto el ángulo como las formas nanocolumnares de cada material, considerándose en la actualidad un marco teórico solvente para reproducir los ángulos de las nanocolumnas y otras características microestructurales.

FIGURA 7
ESQUEMA DEL MODELO DE ATRAPAMIENTO. LOS ÁTOMOS INCIDENTES QUE ATRAVIESAN ZONAS PRÓXIMAS A LAS NANOCOLUMNAS PUEDEN VERSE ARRASTRADAS SOBRE LAS MISMAS Y NO PROSEGUIR SU TRAYECTORIA RECTILÍNEA. ESTE MECANISMO PERMITE EXPLICAR EL ÁNGULO QUE FORMAN LAS NANOCOLUMNAS RESPECTO DEL SUSTRATO SEGÚN SE INDICA EN LA IMAGEN DE MICROSCOPIA ELECTRÓNICA DE LA DERECHA Y CÓMO ESTE VARÍA SEGÚN EL TIPO DE MATERIAL DEPOSITADO



E) APLICACIONES DE LAS CAPAS DELGADAS NANOESTRUCTURADAS DE GEOMETRÍA OBLICUA

Lo hasta ahora dicho, se ha enmarcado el desarrollo de las tecnologías de procesamiento superficial en el marco de ideas tales como caos, geometría, simetría, sombra y otros conceptos sutiles que ayudan a describir la microestructura singular de las capas de geometría oblicua. En la última parte de esta exposición, siguiendo el principio de que los materiales son sólidos procesados para conseguir una microestructura que resulte útil para desarrollar ciertas funcionalidades concretas, conviene comentar algunas aplicacio-

nes de las capas delgadas en geometría oblicua. En otras palabras, se trata de justificar cómo estos elementos formales pueden dar lugar a aplicaciones finales, al modo en que una pieza de orfebre pasa de diseño, real o imaginado en la mente del artesano, a una construcción final utilizada para funciones específicas. En la jerga de la Ciencia de Materiales, se trata de presentar algunos ejemplos de lo que se denominan *propiedades funcionales* vinculadas a las capas delgadas de geometría oblicua. De paso, veremos cómo se vinculan estos ejemplos de procesado superficial de materiales con desarrollos y aplicaciones en el campo de la Química, lo que, a la postre, justifica la transición que mencionamos más arriba desde la Física del caos durante el crecimiento de las capas, a aplicaciones funcionales donde la reactividad química o la capacidad analíticas son los elementos esenciales de aplicación.

Conviene no obstante señalar que la lista de campos de aplicación de las capas delgadas de geometría oblicua es amplísima y tocan elementos, componentes y procesos de gran importancia para un gran número de aplicaciones tecnológicas de gran actualidad. Recogiendo los datos de una revisión creciente sobre el tema (13), las capas delgadas en geometría oblicua encuentran uso en multitud de campos y aplicaciones en *Ciencia de Materiales*, incluidos los recubrimientos ópticos avanzados, pilas de combustibles, celdas fotovoltaicas, sensores conductimétricos, electroquímicos y fotónicos para la detección de componentes minoritarios, electrodos para la electrolisis del agua, baterías de última generación, recubrimientos electrocromáticos, aplicaciones en microfluídica y otras muchas aplicaciones de gran impacto tecnológico. No siendo posible aquí ni tan siquiera rozar superficialmente el contenido de estos conceptos, trataré de ilustrar las posibilidades de esta tecnología con dos ejemplos tomados de trabajos realizados en el Instituto de Ciencia de Materiales de Sevilla. Estos ejemplos se vehiculan sobre conceptos básicos como la importancia del *espacio vacío* de las capas, lo que en el lenguaje de los Materiales llamamos porosidad, y la existencia de *anisotropías geométricas* que dan lugar a birrefringencias ópticas. El primer caso se ilustrará con el caso de un electrodo una celda de combustible y el segundo con el de un sensor fotónico optofluídico.

Ánodos para celdas de combustibles

Las celdas de combustible permiten obtener electricidad quemando un combustible como H_2 ó gas natural en un dispositivo de base electroquímica formado por un cátodo, un ánodo y un electrolito sólido. Esta tecnología constituye la base de los vehículos movidos por hidrógeno y puede llegar a ser una alternativa muy ventajosa de transformar la energía química en eléctrica. Un tipo de celda de combustible de alto rendimiento es el conocido como celdas de combustible de alta temperatura, cuyos ánodos están formadas por un “composite” o material compuesto integrado por pequeñas partículas de níquel dispersadas dentro de un material cerámico, típicamente zircona (ZrO_2) dopada con ytria (Y_2O_3) (conocido como YSZ), que a alta temperatura tiene una gran conductividad eléctrica de carácter iónico caracterizada por el movimiento dentro de su red de los iones $O^{=}$.

Las capas delgadas de geometría oblicua se caracterizan por una gran proporción de espacio vacío, poros y una alta superficie específica, que les dota de una gran capacidad de interaccionar con el medio, un principio básico en disciplinas como la Catálisis Heterogénea o la Electroquímica. El ejemplo de la capa delgada de la **Figura 7** se corresponde a un ánodo de una pila de combustible, formado por un “composite” con una *microestructura* nanocolumnar de alta porosidad diseñada para maximizar el rendimiento de una celda de combustible. Esta *microestructura* singular, fruto de su procesado en geometría oblicua, resulta crítica para proporcionar un alto rendimiento a la celda de combustible. Esta singularidad y el alto rendimiento energético asociado reside en la microestructura en forma de columnas que permite un acceso fácil de los gases hasta los sitios de reacción y, una condición esencial en catálisis heterogénea, una gran proporción de sitios mixtos (“threeboundadrysites”) entre las partículas de Ni y la YSZ. Estas condiciones se han podido optimizar mediante un procesado avanzado de la microestructura de estos ánodos en forma de capa delgada de unas cinco micras de espesor que, crecidas en configuración de geometría oblicua mediante la técnica de plasma denominada de “pulverización catódica”, dieron como resultado un rendimiento eléctrico de la celda de combustible equivalente al que se obtiene para ánodos de varias decenas de micras preparados mediante con otras técnicas convencionales basados en procesos químicos de vía húmeda o cerámicos (14).

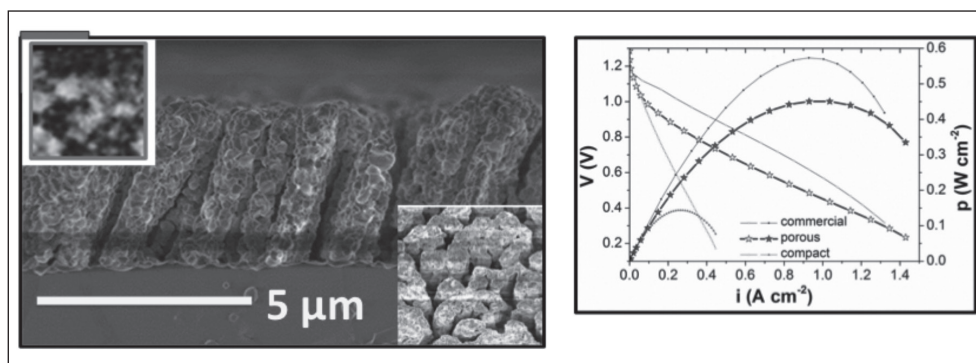
Sensores fotónicos optofluídicos

Se ha indicado previamente que el modelo de atrapamiento, propuesto para describir el crecimiento de capas delgadas en geometría oblicua, explica de forma satisfactoria la dependencia de los ángulos de las nanocolumnas con el valor del ángulo α de llegada de las partículas al sustrato. Este mismo concepto de *atrappamiento* permite predecir que las nanocolumnas de las capas en geometría oblicua no tienen simetría cilíndrica y tienen tendencia a crecer lateralmente de forma preferente en la dirección perpendicular a la llegada del vapor del material de la capa. Siguiendo a *Flabert* y a otros críticos de arte, dice *Antonio Muñoz-Molina* que la mirada que se usa para observar una obra pictórica condiciona radicalmente el impacto estético que se puede apreciar en una obra artística (15).

El condicionamiento del objeto observado según el carácter de nuestra mirada es un principio que se verifica también en *Ciencia de Materiales* y que, aplicado al campo de las capas delgadas en geometría oblicua, proporciona unos elementos muy valiosos para su análisis. Esta mirada singular permite efectivamente determinar que, en las capas nanoestructuradas obtenidas mediante deposición en geometría oblicua, las nanocolumnas manifiestan una cierta forma de asociación lateral. En la **Figura 9** se presentan las imágenes de microscopía electrónica de capas de SiO_2 y TiO_2 preparadas en geometría oblicua. A simple vista, sin un esfuerzo especial de ordenación o interpretación, se aprecia en estas imágenes la parte superior de las nanocolumnas con una distribución que parece desordenada. Sin embargo, un análisis de imagen diseñado para identificar

FIGURA 8

IZDA) IMAGEN DE MICROSCOPIA ELECTRÓNICA EN SECCIÓN TRANSVERSAL Y VISIÓN NORMAL (IMAGEN INSERTADA A LA DERECHA) DE UNA CAPA DE YSZ CON NANOPARTÍCULAS NI PREPARADAS MEDIANTE PULVERIZACIÓN CATÓDICA EN GEOMETRÍA DE ÁNGULO OBLICUO QUE FUERON SOMETIDAS A CALENTAMIENTO A LA TEMPERATURA DE OPERACIÓN. LAS PARTÍCULAS DE NI PRESENTAN UN PEQUEÑO TAMAÑO Y SE ENCUENTRAN HOMOGÉNEAMENTE DISTRIBUIDAS DENTRO DE LA MATRIZ DEL ÓXIDO, TAL Y COMO MUESTRA EL MAPA DE COMPOSICIONES INCRUSTADO EN LA ZONA IZQUIERDA. ESTA MICROESTRUCTURA ALTAMENTE POROSA, DOTADA DE “CANALES” VERTICALES QUE PERMITEN UN ACCESO FÁCIL A LOS REACTIVOS Y LA SALIDA DE LOS PRODUCTOS, ASÍ COMO UNA ALTA CONCENTRACIÓN DE SITIOS NI-YSZ-GAS DA COMO RESULTADO UNA ALTA ACTIVIDAD EN LA ELECTROOXIDACIÓN DE LOS REACTIVOS. DRCHA) ESTA ALTA ACTIVIDAD SE MANIFIESTA EN UNA ELEVADA POTENCIA DE OPERACIÓN TAL Y COMO SE DEDUCE DE LAS REPRESENTACIONES V-I Y P-I, DONDE CAPAS POROSAS DE MENOS DE CINCO MICRAS DE ESPESOR DE LA IZQUIERDA PRESENTAN UNA ACTIVIDAD PARECIDA A LA DE CAPAS COMERCIALES DE 30-40 MICRAS DE ESPESOR Y MUY SUPERIOR A LA DE CAPAS “COMPACTAS” PREPARADAS MEDIANTE PULVERIZACIÓN CATÓDICA EN GEOMETRÍA NORMAL. (14)

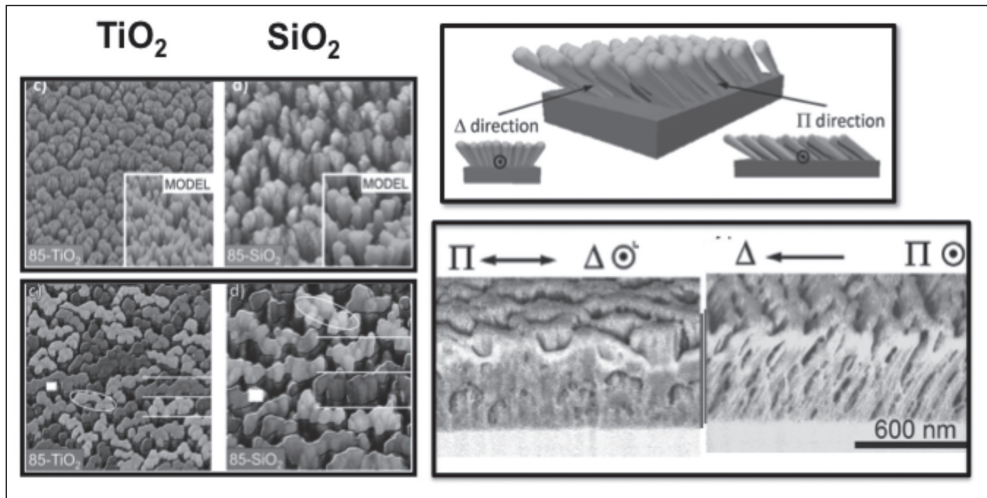


conexiones entre nanocolumnas pone de manifiesto la existencia de una correlación o asociación lateral entre las mismas. Esta misma apreciación se puede verificar observando los cortes transversales de esas capas que también se presentan en esta figura. Este fenómeno de coalescencia lateral en la microestructura de las capas preparadas en geometría oblicua tiene un correlato directo en la aparición de fenómenos de asimetría y birrefringencia óptica que constituyen la base para el desarrollo de sensores optofluídicos de base fotónica.

Una ordenación periódica de unidades estructurales de distinto índice de refracción genera lo que se conoce como una estructura fotónica. Un tipo particular de estas estructuras se puede fabricar mediante el apilamiento periódico de capas de dos materiales de distinto índice de refracción. La forma del espectro de transmisión de este tipo de estructura (**Figura 10**) se caracteriza por una banda de reflexión discreta que se extiende en una zona determinada de longitudes de onda y, opcionalmente, un pico resonante. Este comportamiento óptico es equivalente al que es responsable del color de muchos animales, mariposas, ciertos escarabajos y otras estructuras biológicas. Las gafas tipo “espejo coloreado” que se utilizan en muchos equipamientos de deportes de nieve se basan en este mismo principio.

FIGURA 9

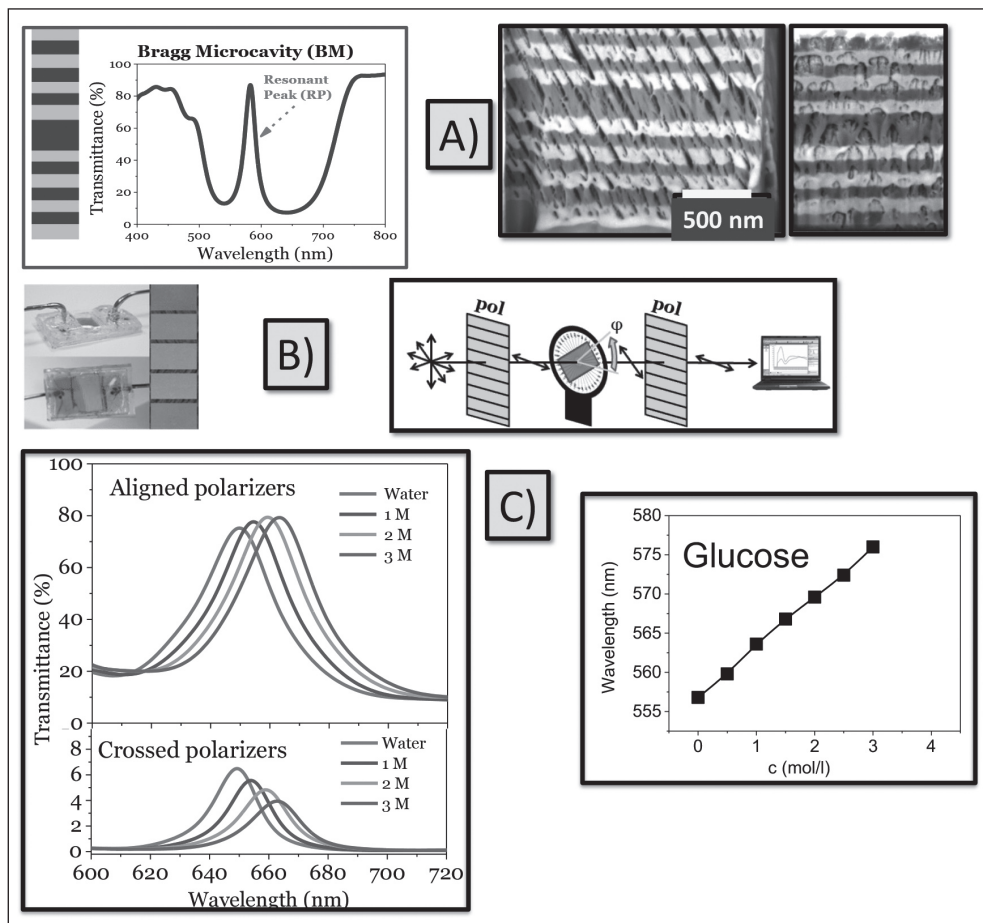
IZDA) IMÁGENES DE MICROSCOPIA ELECTRÓNICA DE LA SUPERFICIE DE CAPAS DE TiO_2 Y SiO_2 PREPARADAS EN GEOMETRÍA OBLICUA PARA UN ÁNGULO CENTRAL DE EVAPORACIÓN DE 85° , ASÍ COMO RESULTADO DE SU SIMULACIÓN USANDO MÉTODOS DE MONTE CARLO (IMÁGENES INSERTADAS). EN LA PARTE INFERIOR SE HAN COLOREADO Y UNIDO DENTRO UNA ÚNICA TRAMA AQUELLAS NANOCOLUMNAS QUE ESTÁN ASOCIADAS. ESTA MANERA DE OBSERVAR LAS IMÁGENES (EL TIPO DE “MIRADA” UTILIZADA) PONE EN EVIDENCIA QUE LA ASOCIACIÓN LATERAL ENTRE NANOCOLUMNAS OCURRE DE MANERA PREFERENTE A LO LARGO DE LA DIRECCIÓN PERPENDICULAR A LA LLEGADA DE ÁTOMOS DURANTE EL CRECIMIENTO. DRCHA) IMÁGENES DE MICROSCOPIA ELECTRÓNICA DE CORTES TRANSVERSALES SEGÚN LAS DIRECCIONES Δ Y Π DEL ESQUEMA A FIN DE ILUSTRAR ESTA ASOCIACIÓN LATERAL DE NANOCOLUMNAS EN LA CAPA DE TiO_2 . (16)



Los sensores optofluídicos que tratamos en este punto consisten en un apilamiento de multicapas porosas de dos materiales de distintas propiedades ópticas, típicamente TiO_2 y SiO_2 que definen lo que se denomina una “microcavidad de Bragg”. Según se presenta en la Figura 10a), la microestructura de tales apilamientos preparados mediante evaporación en geometría oblicua conserva la porosidad de las capas individuales y presenta una anisotropía estructural que tiene un correlato directo en la aparición de una asimetría óptica singular. El uso de multicapas porosas como sensores optofluídicos se basa en los cambios ópticos que experimentan dichas estructuras cuando los poros se infiltran con el líquido a analizar. En el caso de estructuras fotónicas formadas por el apilamiento de capas preparadas en geometría oblicua, su anisotropía óptica les proporciona un comportamiento singular equivalente al de unos dispositivos ópticos denominados convertidores de polarización que tienen una respuesta óptica específica frente a la polarización de la luz. En el caso de las microcavidades de Bragg formadas por multicapas en geometría oblicua su respuesta singular frente a la luz polarizada varía con las características del líquido que se infiltra en sus poros, lo que permite la moni-

torización de disoluciones sin utilizar monocromadores ni elementos ópticos complejos (Figura 10c)) (17).

FIGURA 10
PRINCIPIO Y DESARROLLO DE SENSORES OPTOFLUÍDICOS BASADOS EN EL USO DE MULTICAPAS DE TiO_2 Y SiO_2 PREPARADAS EN GEOMETRÍA OBLICUA



Espectro de transmisión y sección transversal de las multicapas a lo largo de dos direcciones perpendiculares. El espectro de transmisión pone de manifiesto la presencia de un pico resonante muy estrecho y que puede utilizarse para caracterizar ópticamente el sistema. En las imágenes de microscopía de la derecha resulta aparente un grado elevado de porosidad, que puede alcanzar el 60% del volumen de la multicapa, y el hecho de que las nanocolumnas están asociadas lateralmente y, por lo tanto, tienen un comportamiento óptico anisotrópico.

Dispositivo para utilizar las multicapas como sensor optofluídico cuando se infiltra con un líquido problema y sistema de interrogación basado en el uso de dos polarizadores lineales colocados antes y después del dispositivo optofluídico.

Resultados del análisis optofluídicos de disoluciones de glucosa usando el dispositivo optofluídico descrito en B). Según se observa en el diagrama de la derecha, dependiendo de si los polarizadores lineales se orientan de forma paralela o perpendicular entre sí, el pico resonante aumenta de intensidad o disminuye con la concentración de glucosa en la disolución investigada. El seguimiento de la relación de estas intensidades permitiría prescindir del uso de un monocromador para el seguimiento de este experimento. (17)

F. EPÍLOGO Y OTRAS COSAS SUTILES

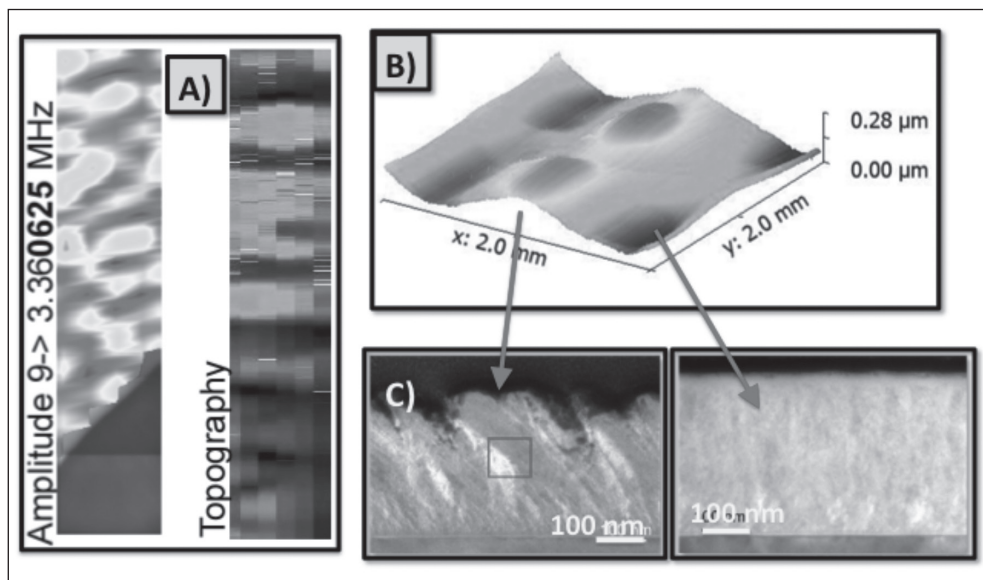
Aunque podríamos seguir exponiendo ejemplos y comentando relaciones entre procesado superficial, microestructura, propiedades y aplicaciones de estos sistemas de capas de geometría oblicua y otros sistemas relacionados, es preciso concluir esta exposición mencionando otros elementos sutiles que pueden manejarse en el procesado superficial de materiales. Desearía hacerlo con una idea común a todo desarrollo científico y técnico: si bien lo conocido y ya dominado puede ser muy amplio, lo desconocido y por descubrir es inmenso y, sobre todo, puede y debe ser el elemento básico que guíe nuestra curiosidad e interés. El vocablo alemán “Rausch”, además de su significado más directo de embriaguez, presenta otros como fiebre, ruido, frenesí, droga, vértigo o euforia. Un referente clásico de este significado amplio de “Rausch” es el Dios griego Dionisos, el Baco de los romanos, que representa a la perfección el entusiasmo que puede y debe generar el vértigo de lo nuevo, la diversión de la paradoja y la sorpresa y humildad renovada ante nuestros errores.

Todo ello está a nuestro alcance en el procesado superficial de materiales, esa disciplina mestiza y hasta cierto punto bastarda a la que me refería al principio de mi exposición. Cuando hablábamos del modelo de Thornton, mencionamos que la temperatura y la presión eran consideradas como parámetros básicos para controlar la microestructura de las capas crecidas mediante métodos de vacío y plasma. En el centro de mi presentación les he mostrado cómo la *geometría*, puede ser otro elemento determinante de control microestructural.

Déjenme terminar con una pregunta Dionisiaca: ¿Podemos modular la microestructura de las capas usando sonido? *Stanley Kubrick* en el film “2001 Una Odisea en el Espacio” utilizó las notas musicales de una composición de principios del siglo pasado: “Así habló Zaratustra” de *Ricardo Strauss* para representar el carácter abierto y evolutivo de toda empresa cultural. En trabajos recientes de nuestro laboratorio hemos mostrado que, efectivamente, el sonido, en forma de ondas acústicas superficiales, puede utilizarse para modificar la microestructura de las capas delgadas de geometría oblicua, permitiendo la generación de patrones (un nuevo orden extraído del caos inicial de las partículas evaporadas) en dimensiones de los cientos de micras (**Figura 11**). Las posibilidades de esta técnica están abiertas y cabe esperar que de ella se desprendan nuevas

posibilidades y estructuras novedosas que, en manos de artesanos expertos, den lugar a nuevas aplicaciones semejantes a las que he tenido el privilegio de compartir en este documento.

FIGURA 11
TOPOGRAFÍA DE CAPAS DELGADAS CRECIDAS MIENTRAS QUE EL SUSTRATO SE ACTIVA CON ONDAS ACÚSTICAS SUPERFICIALES



Caracterización láser de la oscilación superficial inducida por las ondas acústicas (izquierda) y caracterización de la topografía final de la capa obtenida (derecha) donde resulta aparente que el espesor se modula lateralmente en función de la excitación acústica.

Representación de la topografía superficial mostrando la diferencia de espesor. Se observa la generación de módulos de espesor diferente en dimensiones del orden de 500 micras.

Sección transversal de las capas obtenidas mediante microscopía electrónica de transmisión para las regiones de mayor (izda) y menor (drcha) espesor. Estas imágenes muestran que el grado de compactación es mucho más elevado en las zonas de mínimo espesor.

G) AGRADECIMIENTOS

Termino con los agradecimientos a las personas e instituciones que han posibilitado que este discurso haya sido posible y que, en mi caso, no quisiera que fueran solo la

manifestación de un rito protocolario. A semejanza de Jasón y su viaje a Argos, el viaje a través de las capas de geometría oblicua solo ha sido posible con el concurso de unos astronautas de lujo:

Sin duda, los miembros actuales de mi grupo de investigación “Nanotecnología en Superficies y Plasmas”: Juan Pedro Espinós Manzorro, Profesor de Investigación del CSIC; José Cotrino Bautista, Catedrático de la Universidad de Sevilla; Francisco Yubero Valencia, Investigador Científico del CSIC; Ángel Barranco Quero, Investigador Científico del CSIC; Ana Isabel Borrás Martos, Científica Titular del CSIC; Alberto Palmero Acebedo, Científico Titular del CSIC; Víctor Rico Gavira, Titulado Superior del CSIC; Rafael Álvarez, contratado doctor en la USE; Ana Gómez Ramírez, contratada doctor en la USE; M^a Carmen López Santos contratada en la USE, Juan Ramón Sánchez Valencia, contratado Ramón y Cajal de la USE; Jorge Gil-Rostra, contratado en el CSIC.

Sin duda, los estudiantes de doctorado que han trabajado en este tema y que han seguido otros derroteros profesionales: Lola González García, Julián Parra-Barranco, Manuel Macías, Manuel Oliva o Aurelio García-Valenzuela y aquellos que siguen disfrutando o, según se vea, sufriendo con la investigación en nuestro grupo: Ester López, Paula Navascués o José Obrero

Aunque debo pedir excusas por no mencionar de forma explícita a los numerosísimos compañeros e investigadores con los que he tenido el privilegio de colaborar antes de embarcarme en la aventura de las capas en geometría oblicua, no quisiera dejar de hacer una mención explícita a los orígenes, a aquellos científicos y maestros de los que cogidos de la mano nos guiamos en el principio de nuestro trabajo, en mi caso en aspectos alejados de la Ingeniería de Superficies, pero que, sin duda, contribuyeron a estimular mi interés en el trabajo científico y a esculpir la voluntad y el rigor necesarios para el mismo. Reconozco aquí a los Profesores Guillermo Munuera, catedrático de la Universidad de Sevilla, y Javier Soria, Profesor de investigación del CSIC en el Instituto de Catálisis, que fueron directores de mi tesis doctoral en el Instituto de Catálisis y Petroleoquímica del CSIC.

Concluyo con mi agradecimiento a las organizaciones e instituciones que han hecho posibles todos estos trabajos, primero al Instituto de Ciencia de Materiales de Sevilla, del que tuve el honor de ser director durante cuatro años y, sin duda, al Consejo Superior de Investigaciones Científicas, donde he tenido el privilegio de servir en numerosas actividades y funciones, y la Universidad de Sevilla, donde serví como Profesor Adjunto al principio de mi carrera científica.

A todos ellos, personas e instituciones, mi reconocimiento por su apoyo y trabajo en común y a ustedes muchas gracias por su interés y paciencia.

REFERENCIAS

1. JORGE LOZANO. *Yuri Lotman, de la entropía a la explosión del sentido*. Revista de Occidente, Octubre 2018, n° 449, 73-81.
2. M. MACÍAS-MONTERO, A. BORRÁS, R. ÁLVAREZ, A.R. GONZÁLEZ-ELIPE. *Following the wetting of One-dimensional Photoactive surfaces*. Langmuir 2012, 28, 15047-15055.

3. A) K.T. COMPTON, I LANGMUIR. *Electrical discharges in gases. Part I. Survey of fundamental processes*. Reviews of Modern Physics 1930, 2, 123-242. B) I. LANGMUIR. *The interaction of electron and positive ion space charges in cathode sheaths*. Physical Review 1929, 33, 954-989. C) L. TONKS, I. LANGMUIR. *A general theory of the plasma of an arc*. Physical Review 1929, 34, 876-922.
4. J.A. THORNTON. *Influence of apparatus geometry and deposition conditions on structure and topography of thick sputtered coatings*. J Vac Sci Technol 1974, 11, 666-70.
5. K. KAEMPF. *Grösse und Ursache der Doppelbrechung in kundtschenspiegel nuerzeugung von doppelbrechung in metallspiegel nuerdurchzug*. Ann Phys 1905, 321, 308-333.
6. C. BERGHOLM. *Über Doppelbrechung in Kathodenzerstäubtenmetallsuchten*. Ann Phys 1913, 348, 1-23.
7. M.M. HAWKEYE, M.J. BRETT. *Glancing angle deposition: fabrication, properties, and applications of micro- and nanostructured thin films*. J Vac Sci Technol A 2007, 25, 1317-35.
8. M.M. HAWKEYE, M.T. TASCHUK, M.J. BRETT. *Glancing angle deposition of thin films: engineering the nanoscale*. Wiley Series in Materials for Electronic & Optoelectronic Applications; 2014 [September 29].
9. A. LAKHTAKIA, R. MESSIER. *Sculptured thin films. Nanoengineered morphology and optics*. Bellingham, Washington, USA: SPIE Press; 2005.
10. I. HODGKINSON, Q.H. WI, J. HAZEL. *Empirical equations for the principal refractive indices and column angle of obliquely deposited films of tantalum oxide, titanium oxide, and zirconium oxide*. Appl Opt 1998; 37:2653-9.
11. A) B. TANTO, T. EYCK, T.M. LU. *A model for column angle evolution during oblique angle deposition*. J Appl Phys. 2010, 108, 026107. B) H. ZHU, W. CAO, G.K. LARSEN, R. TOOLE, Y. ZHAO. *Tilting angle of nanocolumnar films fabricated by oblique angle deposition*. J. Vac Sci Technol B 2012, 30, 030606. C) T. KARABACAK, G.C. WANG, T.M. LU. *Quasi-periodic nanostructures grown by oblique angle deposition*. J. Appl. Phys. 2003, 94, 7723-8.
12. R. ÁLVAREZ, C. LÓPEZ-SANTOS, J. PARRA-BARRANCO, V. RICO, A. BARRANCO, J. CONTRINO, A. R. GONZÁLEZ-ELIPE, A. PALMERO. *Nanocolumnar growth of thin films deposited at oblique angles: Beyond the tangent rule*. J. Vac. Sci. Technol. B 2014, 32, 041802
13. A. BARRANCO, A. BORRÁS, A. R. GONZÁLEZ-ELIPE, A. PALMERO. *Perspectives on oblique angle deposition of thin films: From fundamentals to devices*. Progress in Materials Science 2016, 76, 59-153
14. F.J. GARCÍA-GARCÍA, F. YUBERO, J.P. ESPINOS, A.R. GONZÁLEZ-ELIPE, R.M. LAMBERT, *Synthesis, characterization and performance of robust poison resistant ultrathin film yttrium-stabilized zirconia and nickel anodes for application in solid electrolyte fuel cells*. J. Power Sources 2016, 324, 679-686.
15. ANTONIO MUÑOZ MOLINA. *El atrevimiento de mirar*. Galaxia Gutemberg, Barcelona 2012.
16. C. LÓPEZ-SANTOS, R. ÁLVAREZ, A. GARCÍA-VALENZUELA, V. RICO, M. LOEFFLER, A. R. GONZÁLEZ-ELIPE, A. PALMERO. *Nanocolumnar association and domain formation in porous thin films grown by evaporation at oblique angles*. Nanotechnology 2016, 27, 395702.
17. M. OLIVA-RAMÍREZ, A. BARRANCO, M. LÖFFLER, F. YUBERO, A. R. GONZÁLEZ-ELIPE. *Optofluidic Modulation of Self-Associated Nanostructural Units Forming Planar Bragg Microcavities*. ACS Nano 2016, 10, 1256.1264

DISCURSO PRONUNCIADO POR EL ILMO. SR. D. JAVIER FERNÁNDEZ SANZ

*Académico Numerario,
en contestación al leído por
Ilmo. Sr. D. Agustín Rodríguez González-Elipe,
en el acto de su recepción como académico numerario,
celebrado el día 13 de febrero de 2020*

Excmo. Sr. Presidente de la Real Academia Sevillana de Ciencias, Excmas. e Ilmas. Autoridades y Representaciones, Excmos. e Ilmos. Sres. Académicos.Sras. y Sres.:

Me cabe el honor y la satisfacción de dar la bienvenida, en nombre de la Real Academia Sevillana de Ciencias, al nuevo académico cuyo discurso de ingreso acabamos de tener el placer de escuchar.

El Dr. D. Agustín Rodríguez González-Elipe, se licenció en Química en la Universidad de Sevilla, iniciando su actividad investigadora en el Instituto de Catálisis y Petroleoquímica del CSIC, en Madrid, doctorándose en Química por la Universidad Complutense en 1979.

Tras realizar estancias postdoctorales en la Université Pierre et Marie Curie de Paris, y en la Universidad de Munich, se reincorporó al Instituto de Catálisis y Petroleoquímica en 1981. En 1983 regresó a la Universidad de Sevilla, donde ejerció como Profesor Titular hasta 1987. En 1988 se integró de nuevo en el Consejo Superior de Investigaciones Científicas, pasando a formar parte del Instituto de Ciencia de Materiales de Sevilla, primero como Investigador y, ya a partir de 1998, como Profesor de Investigación. Ha sido precisamente en este instituto mixto, integrado en el Centro de Investigaciones Científicas Isla de la Cartuja, donde ha desplegado la parte sustancial de su carrera científica.

Tras una primera etapa dedicada al estudio de la reactividad de superficies y procesos catalíticos en fase heterogénea, su actividad científica evolucionó hacia el campo de los Materiales, en concreto hacia el de la Ciencia y Tecnología de Superficies.

La utilización de materiales cuya superficie ha sido procesada constituye una parte integrante de nuestra realidad cotidiana. Por ejemplo, el interior de nuestras casas está pintado o empapelado. Sus fachadas pueden estar encaladas o provistas de algún otro revestimiento, bien para protegerlas del calor o la humedad, o simplemente con fines decorativos. Son técnicas usadas desde tiempo inmemorial. De hecho, se da por sentado que las pirámides de Egipto estaban recubiertas por capas decorativas con una función, además, protectora.

Desde una perspectiva histórica, uno de los aspectos que más ha influido en el desarrollo de la humanidad ha radicado en las propiedades mecánicas de los materiales utilizados para fabricar sus utensilios y herramientas. En particular su resistencia y dureza.

La referencia escrita más antigua que se tiene sobre el endurecimiento de un material mediante un tratamiento térmico se debe a Homero, quien, en el Canto IX de La Odisea, describe cómo Ulises y sus hombres endurecen una estaca de olivo exponiéndola a la acción del fuego. Esta será luego utilizada para cegar a Polifemo.

Los tratamientos superficiales para endurecer aleaciones metálicas, fundamentalmente hierros y aceros, también son conocidos desde antiguo. Fruto de un largo proceso de ensayo y error, se disponía de protocolos, algunos referenciados en la Alta Edad Media, que utilizaban ingredientes de lo más variopinto, desde pezuñas y cuernos de animales hasta restos vegetales. Todos ellos encaminados a aportar carbono y nitrógeno a la superficie del metal. El primer trabajo científico documentado sobre endurecimiento metalúrgico se debe al polifacético investigador francés René Antoine Ferchault de Réaumur, quien, en 1722, relacionó las propiedades del hierro con su contenido en carbono.

A pesar del enorme impacto del hierro y acero en la sociedad moderna, las técnicas para su endurecimiento siguieron basadas en procedimientos empíricos hasta bien entrado el siglo XX. A principios de la década de los 80, se tomó conciencia de que, debido a fenómenos tales como la corrosión, el desgaste y la fatiga, la gran mayoría de los materiales modificados se degradan y acaban fallando. Esta realidad impulsó el desarrollo de una nueva área interdisciplinar que se denominó Ingeniería de Superficies, la cual, unida al estudio de las propiedades de la superficie de los materiales, daría lugar al desarrollo de toda una serie de nuevas tecnologías preparadas para afrontar los retos del siglo XXI. Se trata, una vez más, de la comunión del binomio Ingeniería de Materiales - Ciencia de Materiales.

Hoy en día, el tratamiento de la superficie de los materiales es omnipresente. Sea para mejorar su tacto, su color, su brillo, su dureza, su resistencia a la corrosión, etc., no importa adonde dirijamos nuestra mirada vamos a encontrar un objeto cuya superficie ha sido modificada, ha sido adaptada a una necesidad, es, en definitiva, un producto de la ingeniería y tecnología de superficies.

Si nos atenemos a tratamientos de recubrimiento, podemos utilizar su espesor como criterio de evolución. Técnicas como el esmaltado o el estucado, conocidas desde antiguo, consisten, básicamente, en recubrir una superficie con una capa de material de cierto grosor, pongamos del orden del milímetro.

Un salto cualitativamente importante en el adelgazamiento de las capas protectoras ha sido la utilización de la galvanoplastia, que mediante la electrodeposición de un metal más o menos inerte, ha supuesto un importantísimo avance en la manufactura de utensilios de lo más variado. En particular, ha resultado decisiva en la lucha contra la corrosión. En este caso hablamos de recubrimientos de un espesor del orden de la micra.

Sin embargo, en las dos últimas décadas, ha habido un cambio de paradigma en el tratamiento de las superficies. Un cambio orientado hacia la utilización de procesos con mayor control, casi a escala atómica, que hacen uso de la deposición química o física a

partir de vapores, plasmas, haces de partículas, láseres, arcos pulsados, etc. Estamos hablando, por lo tanto, de la modificación superficial a escala nanométrica, incorporándose de este modo, en las superficies, propiedades que ahora reconocemos como pertenecientes a la nanociencia. O visto desde otro ángulo, estamos hablando de incorporar en las superficies las propiedades de nanomateriales.

En la actualidad, y siguiendo con el símil constructivo, los edificios más modernos, construidos sobre un armazón de hormigón armado y cristal, están recubiertos por materiales funcionales de última generación con propiedades específicas que permiten, por ejemplo, controlar la transmisión de la luz solar, que pueden ser autolimpiables, o que pueden actuar como celdas fotovoltaicas y así ser capaces de generar una corriente eléctrica.

Se ha cambiado la paleta y el pincel por la fuente láser y el magnetrón. Se ha trocado el yunque y la bigornia por la deposición asistida mediante arco voltaico y la pulverización catódica. Si me permiten la licencia, retomando las palabras del Prof. González-Elipe, se trata de artesanía, artesanía pura donde los artesanos son científicos especializados en ciencia e ingeniería de superficies. Artesanía que permite desde elaborar el material para un implante de cadera, hasta fabricar los componentes electrónicos que utilizan los dispositivos móviles, verdadero tótem de la sociedad actual.

El Prof. González-Elipe ha centrado su actividad científica en el campo del procesamiento superficial de materiales, en particular en el uso de métodos de vacío y plasmas para la fabricación de recubrimientos y nano-estructuras soportadas, con aplicaciones varias, tales como sensores, dispositivos ópticos, recubrimientos especiales para el control del mojado, microfluidos con propiedades ópticas, materiales para celdas de combustible, celdas fotovoltaicas y otros problemas relacionados con el aprovechamiento energético.

Con más de 450 publicaciones científicas, y un índice H superior a 50, el Prof. González-Elipe, se ha convertido en un claro exponente de calidad científica a nivel nacional e internacional. Desde el Instituto de Ciencia de Materiales de Sevilla, del que fuera director en el periodo 1998-2001, ha sido el impulsor de las líneas de investigación sobre Tecnologías de Superficies que se desarrollan en dicho centro, compaginando dichas tareas con una intensa actividad docente en diversos cursos universitarios y de postgrado.

La larga lista de proyectos de investigación de los que ha sido responsable, sociedades científicas en las que ha participado, tesis doctorales y tesinas que ha dirigido, agencias de evaluación y paneles de expertos en los que ha intervenido, confirma de forma fehaciente el impacto y la relevancia del trabajo científico y académico del Prof. González-Elipe. Entre los varios premios que ha obtenido, voy destacar el premio a investigadores jóvenes que le otorgó la Real Academia Sevillana de Ciencias en el año 1990, lo cual viene a corroborar, una vez más, el acierto de esta institución en la concesión de sus premios.

Entre los retos tecnológicos actuales, aquellos relacionados con el aprovechamiento energético en condiciones menos lesivas para nuestro entorno constituyen una de las mayores preocupaciones de nuestra sociedad, preocupaciones con las que nuestra Academia debe estar, como de hecho lo está, en sintonía. Sin duda alguna, la ingeniería de materiales, y en particular de sus superficies, va a desempeñar un papel decisivo en los

avances que se van a producir en los próximos años. Sin duda alguna también, el ingreso como académico de número del Prof. González-Elipe va a aportar una visión experta, y va a significar una clara plusvalía.

Termino ya, en nombre de todos los miembros de la Academia y en el mío propio, dándote la bienvenida a esta casa, que ya es la tuya.

He dicho.

CONFERENCIAS

LAS REALES ATARAZANAS DE SEVILLA

*Conferencia pronunciada por el
Excmo. Sr. D. José Luis de Justo Alpañés,
presidente de la Real Academia Sevillana de Ciencias,
dentro del ciclo “Historia y Filosofía
de la Ciencia y de la Técnica”,
el día 20 de enero de 2020.*

1. OBJETIVOS

Recordar la historia de las Reales Atarazanas y resaltar su importancia en la creación de la marina de Castilla.

Presentar su estructura, los cambios sufridos hasta la fecha y los proyectos de restauración.

Agradecer el esfuerzo de todos los que han luchado por su rehabilitación.

Indicar la situación actual.

2. HISTORIA Y ESTRUCTURA DE LAS REALES ATARAZANAS

Según José García Tapial, a lo largo del actual edificio de las Reales Atarazanas aparecen tres épocas históricas. Al fondo la muralla almohade, en todo el interior las atarazanas cristianas y delante la portada del siglo XVIII (Fig. 1).

Las Reales Atarazanas de Sevilla han significado, para la marina de Castilla, algo semejante a lo que fueron las Reales Atarazanas de Barcelona (1280-1300), algo posteriores y hoy museo marítimo de Barcelona, para la marina de Aragón.

2.1. Antecedentes musulmanes

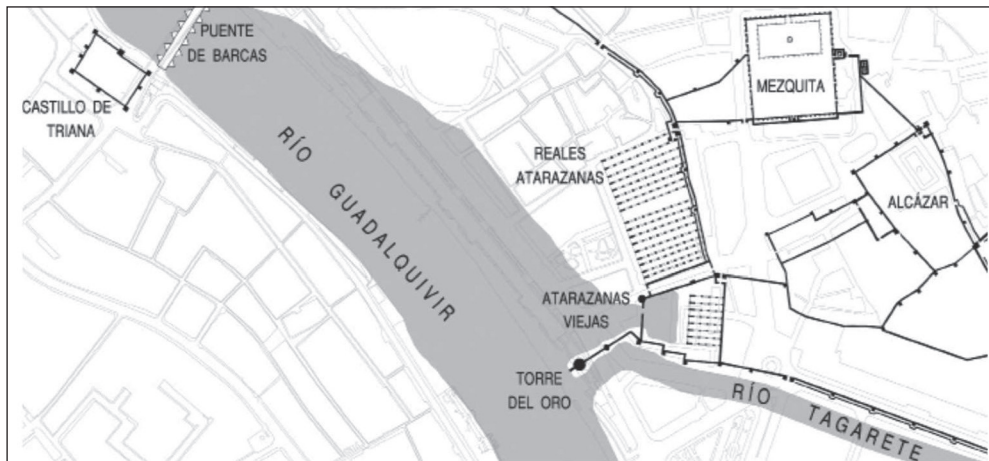
Fernando Amores, 2018 (Archivo Hispalense, 306-308: 37-63) considera que estas atarazanas musulmanas (Atarazanas Viejas), con 7 naves, pueden estar en el actual recinto de la Casa de la Moneda y que pudieron ser utilizadas como atarazanas en los tiempos inmediatamente posteriores a la conquista de Sevilla (Fig. 2).

A la izquierda de las Atarazanas Viejas se puede ver la situación de las Atarazanas de Alfonso X el Sabio, el Arenal y el Río Guadalquivir. La diferencia entre la cota de las naves y del río apenas llegaba al metro.

FIGURA 1
LAS REALES ATARAZANAS DE SEVILLA (MOLINO, 2015).



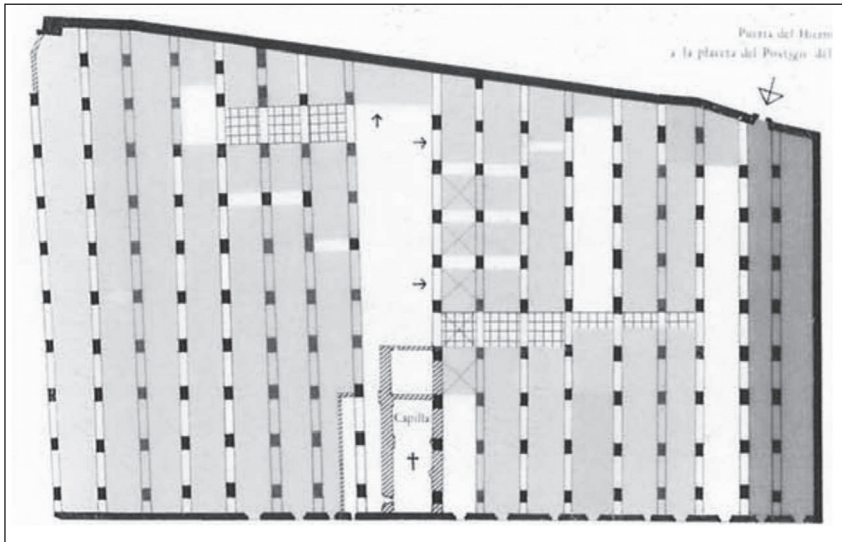
FIGURA 2
ATARAZANAS MUSULMANAS (AMORES, 2018)



2.2. Las Atarazanas cristianas

Tras la toma de Sevilla por Fernando III el Santo, Ortiz de Zúñiga describe como en 1252, su hijo, Alfonso X el Sabio, inicia la construcción de unas Atarazanas Reales para la construcción de galeras y bajeles, en el ámbito cobijado que formaba la muralla con la coracha que unía las Torres del Oro y de la Plata, entre las Puertas del Carbón y del Aceite).

FIGURA 3
LAS ATARAZANAS HACIA 1575 (BARRIONUEVO Y MOLINO, 1999)



Se basaron en la yuxtaposición de 17 naves en sentido perpendicular al Río Guadalquivir adosadas a la muralla almohade de la ciudad, ejecutadas todas ellas en fábrica de ladrillo, formando un recinto de 100 x 180 m. Se facilitaba una fácil salida al agua, para la entrada y salida de los barcos, por estar situadas en el Arenal de suave pendiente.

2.3. Estructura

La dimensión de los pilastrones es de 2,40 x 1,80 m. Los arcos arrancan a una altura de 5 m desde la base de la zapata continua. La cimentación era una zapata corrida construida en un cajado longitudinal, con argamasa de cal muy dura. Las atarazanas fueron construidas por alarifes musulmanes, como el maestro Alí (Fig. 4).

Hasta que Antonio Barrionuevo no retiró la cal de las paredes, en su restauración de 1995, los sevillanos no comenzaron a apreciar la suntuosidad de esta obra gótico-mudéjar, con anchas y largas naves cubiertas por bóvedas de arista (Fig. 5 y 6).

Estas naves están apoyadas sobre fortísimos pilastrones de ladrillo, material único este existente en el monumento, sobre los que vuelan gruesas bóvedas, cuya belleza maravilla al visitante (Fig. 7).

La Figura 8 muestra la vista de las Atarazanas desde la calle 2 de mayo.

FIGURA 4
ESTRUCTURA DE LAS REALES ATARAZANAS

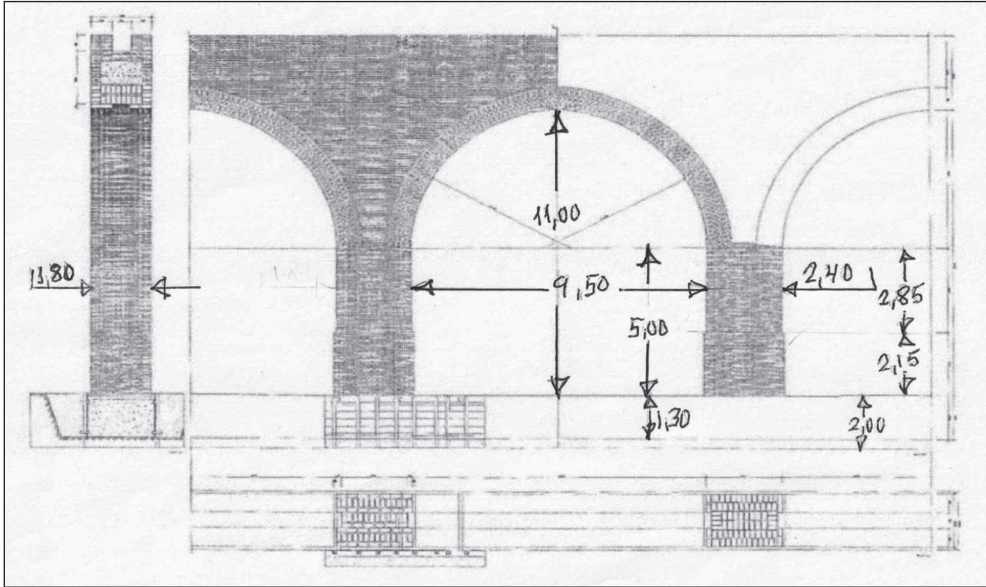


FIGURA 5
VISTA INTERIOR DE LA NAVE 1



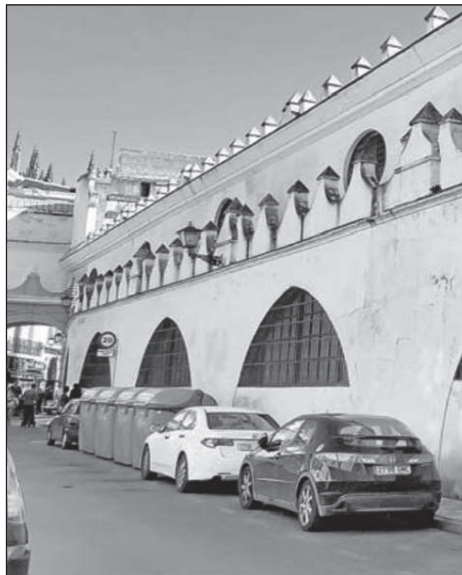
FIGURA 6
SITUACIÓN ACTUAL DE LA NAVE 4 (BARRIONUEVO Y MOLINO, 1999)



FIGURA 7
FOTOGRAFÍA DE CLEMENTE DELGADO. BARRIONUEVO Y MOLINO, 1999



FIGURA 8
FACHADA DE LA CALLE 2 DE MAYO



2.4. *La armada perpetua y la legislación marítima*

Alfonso X ordenó que una flota de 10 galeras armadas, cada una con dos compañías de soldados mandados por un Cómite, estuviesen siempre dispuestas. Esto duró hasta 1278. En 1277 se produce la conjura contra el rey de su hermano el infante D. Fadrique. Alfonso X el Sabio también sentó los fundamentos de lo que habría de ser la ciencia náutica europea, y estableció, en las Partidas, la primera legislación marítima castellana.

2.5. *La galera mediterránea*

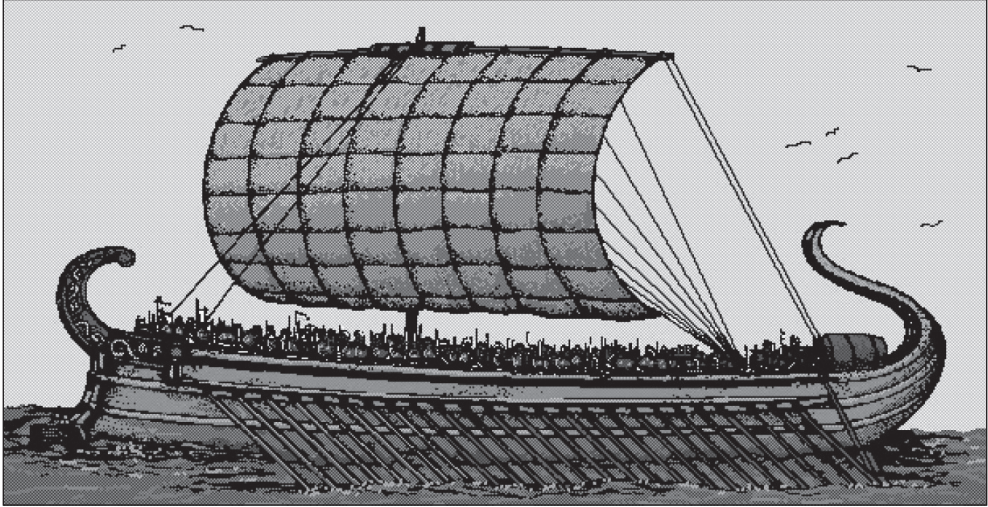
La galera fue un tipo de barco ampliamente usado desde la antigüedad hasta principios del XIX. Es un barco impulsado por la fuerza de los remos, y en ocasiones por el viento; por eso poseía una o más velas grandes (Fig. 9).

Los barcos españoles ya disponían de cañones en 1372, que aterrorizaban a los británicos.

2.6. *La marina de Castilla*

A raíz de la construcción de las Atarazanas, y hasta principios del siglo XV, Sevilla fue la base de la marina de guerra más importante de la Corona. Esta marina fue protagonista de la serie de extraordinarios acontecimientos que más tarde hicieron de la ciudad uno de los puertos más importante del mundo.

FIGURA 9
LA GALERA MEDITERRÁNEA



Se conservan numerosos documentos en los que se recogen crónicas de batallas y operaciones en las que las flotas se componían de embarcaciones construidas en Sevilla, lógicamente en sus Atarazanas. Así, por ejemplo, se trabajaba en las naves del arsenal en 1277, cuando Alfonso X queriendo cercar Algeciras, principal puerto musulmán de comunicación con el norte de África, mandó construir la gran flota compuesta por 80 galeras y 24 naves.

Alfonso XI, para la batalla del Salado de 1340 mandó armar galeras en Sevilla.

En el reinado de Pedro I, prosiguieron en plena actividad las Atarazanas de Sevilla. En ellas se construían y armaban navíos contra el monarca aragonés. Torres Balbás indica que sirvieron a Pedro I como cárcel, y en ellas mantuvo, en 1360, entre otros, a su tesorero mayor, don Samuel Levi, y algo más tarde al rey Bermejo con su séquito, asesinado luego por orden real.

Las cuentas pendientes entre los Trastámara y la Inglaterra del Príncipe Negro empujaron a que Enrique II se involucrara en la Guerra de los 100 años de parte del bando francés. En 1372 hubo un combate naval en la Rochela entre la Armada inglesa y la castellana al mando de Bocanegra que derrotó a los ingleses y capturó a su almirante, conde de Pembroke.

A la muerte de Ambrosio de Bocanegra, Enrique II nombró a Fernán Sánchez de Tovar, Almirante de Castilla en 1374. A principios de 1380, Sánchez de Tovar concentró en Sevilla 20 galeras para su plan más ambicioso una incursión en Inglaterra (Fig. 10).

Franceses y castellanos a su mando se lanzaron ese verano hacia el corazón británico. Tras incendiar la fortaleza de defensa, las galeras entraron a golpe de remo por el curso del Támesis sin oposición para acabar desembarcando sobre la ribera sur.

FIGURA 10
PRINCIPALES ATAQUES DE TOVAR Y EL ALMIRANTE FRANCÉS, VIENNE,
CONTRA INGLATERRA (1374-1380)



2.7. La casa de Contratación

La Real Atarazana de Sevilla fue la primera sede de la Casa de Contratación de Indias, establecida el 14 de febrero de 1503 por Isabel I de Castilla, en Sevilla (aunque fue trasladada el 5 de junio al Alcázar), para fomentar y regular el comercio y la navegación con el nuevo Mundo. Con ello la ciudad inició un período de esplendor que tuvo su reflejo en los ámbitos de las artes, la economía, las ciencias naturales y las tecnologías. Para este dinamismo fue imprescindible el conocimiento científico y la innovación de los cosmógrafos y pilotos mayores de la Casa de Contratación.

2.8. Declive de las Atarazanas

En el primer tercio del siglo XV, las Atarazanas armaron sus últimas grandes flotas de galeras.

Las Coronas de Aragón, Castilla y Portugal habían conseguido desarrollar en sus astilleros una tecnología naval puntera, adaptada a las necesidades de navegación por el Atlántico, para la que la galera mediterránea no era idónea. Las galeras fueron perdiendo capacidad de combate frente a diseños novedosos de veleros como la carabela, la carraca y la nao, que eran más rápidas y fuertes y tenían mucha mayor autonomía, gracias a sus tripulaciones menos numerosas.

Aún durante el reinado de los Reyes Católicos, se hacían reparaciones y se construía alguna galera en Sevilla, pero ya había comenzado su decadencia como astillero. Ya los Reyes Católicos concedieron a la ciudad la nave nº 1 para establecer en ella la pesquería pública.

A medida que iba perdiendo su importancia para la construcción de barcos, las naves empezaron a ser arrendadas. En 1534 el Conde Hernando de Andrade, informó que no contenían elemento alguno para construir galeras, género de navíos que perdía su vigen-

cia progresivamente, por su alto costo y bajo rendimiento en invierno.

El último servicio prestado fue el embellecimiento de la nave capitana de D. Juan de Austria en la batalla de Lepanto (Fig. 11).

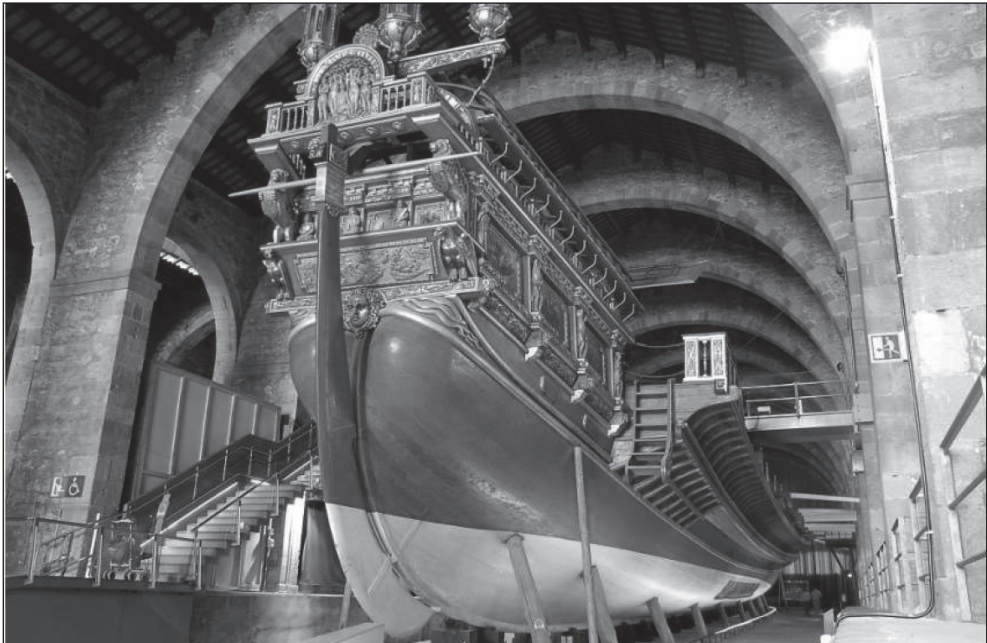
Fueron activas durante más de 3 siglos. Con la pérdida de su función original, se produce una subida del nivel del edificio mediante un importante relleno, primero de aproximadamente 3,90 m, para elevarse sobre la cota del río, que era primordial en su antiguo uso.

A finales del siglo XVI las naves 13, 14 y 15 se transforman para alojar a la aduana de Indias. Las naves 16 y 17 mantuvieron almacenes de lana y azogue respectivamente, como se muestra en el plano de cartografía del ejército de 1725.

2.9. Dependencias artilleras de las Atarazanas

El primer asentamiento de las dependencias artilleras en las Atarazanas data de 1587, en tiempos de Felipe II, con motivo de la ocupación de Portugal por este Rey. En 1593, este rey prohibiría por cédula real que los barcos construidos en las atarazanas sevillanas se emplearan para los viajes al nuevo Mundo aduciendo la peor calidad de la madera utilizada en ellos frente a la de los astilleros del norte de España.

FIGURA 11
RÉPLICA DE LA REAL, NAVE CAPITANA DE DON JUAN DE AUSTRIA EN LA BATALLA DE LEPANTO (1571), A PARTIR DEL ESTUDIO DE MARTÍNEZ HIDALGO. ARCHIVO DEL MUSEO MARÍTIMO DE BARCELONA.

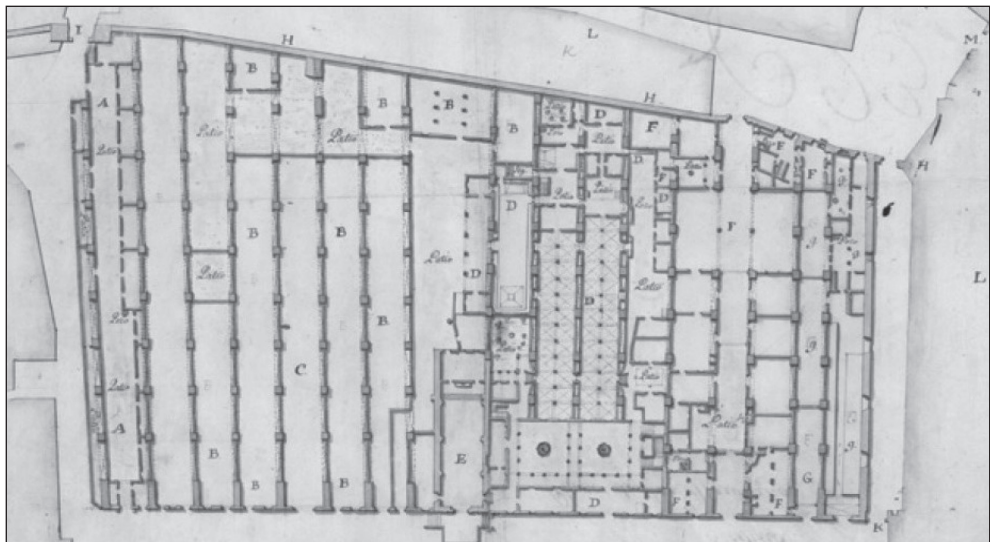


En 1641 se destinan las naves 8 a 12, a la construcción del Hospital de la Caridad y su iglesia, y en 1719 se disponen cinco naves para el almacenamiento de material de artillería, después ampliado a las 7 primeras naves.

2.10. El plano de cartografía del Ejército de 1725 (Fig. 12)

Muestra el estado de las Atarazanas en 1725.

FIGURA 12
PLANO DE CARTOGRAFÍA DEL EJÉRCITO DE 1725



En él aparecen las siguientes dependencias:

- A. Pescadería
- B. Naves alquiladas
- C. Almacén de artillería
- D. Hospital de la Caridad (en el centro)
- E. Iglesia F. Aduana g. Azogue
- G. Lana
- H. Muralla
- I. Puerta del Aceite
- K. Puerta de las Aduanas
- L. Casas de la ciudad
- M. Puerta de la Moneda

2.11. La fachada barroca

En 1782-1783, la Maestranza de Sevilla queda como abastecedora única para Andalucía, Extremadura y la América hispana, en la etapa de Carlos III, lo cual conlleva una nueva operación arquitectónica que configura el edificio y su emblemática fachada tal como hoy se ve.

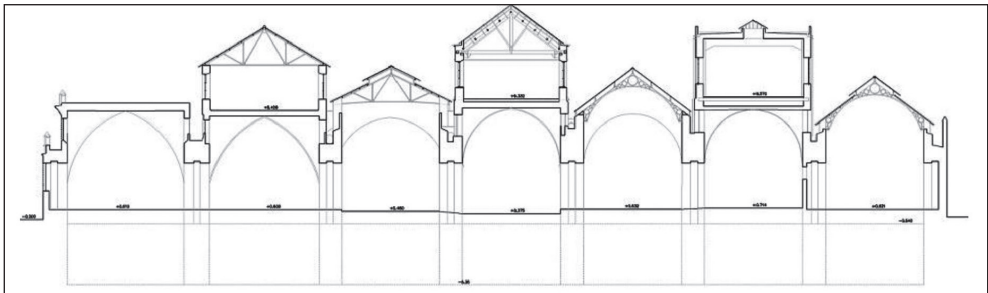
Se trata de la construcción de las naves altas y el cuerpo de fachada, que va a transformar el primitivo frente de estas naves de resonancias fabriles en un edificio arquitectónico que asume el compromiso de los urbano.

La última intervención, de mucho mayor impacto, fue la construcción del edificio de la Delegación de Hacienda, en 1945, con la destrucción de otras 5 naves, 13 a 17.

2.12. La construcción de las naves altas (Fig. 13)

Otro aspecto importante de la reforma de 1785 fue el crecimiento en una planta de las naves 2, 4 y 6, permitiendo la entrada de luz solar y ventilación a través de las naves, 3, 5 y 7, que quedaban más bajas.

FIGURA 13
LAS NAVES ALTAS



Bien de interés cultural (BIC). Las Atarazanas Reales están catalogadas como Monumento Nacional a raíz de su publicación en el BOE el año 1969.

3. LA RESTAURACIÓN DE ANTONIO BARRIONUEVO

Desde 1986 a 1988, la Consejería de Cultura de la Junta de Andalucía encarga un estudio al arquitecto Antonio Barrionuevo con vistas a su adquisición. El edificio es desalojado por la autoridad militar en 1993. En el período 1993-1995 se realizan las obras de la primera fase de rehabilitación, consolidándose las bóvedas de las naves 2, 4 y 6, (Fig. 14) y del cuerpo de muralla.

FIGURA 14
CONSOLIDACIÓN DE BÓVEDAS (MOLINO, 2015)



En esta época el relleno se encontraba un metro por encima del arranque de los arcos. Se rebajó la cota del relleno 1 metro hasta el arranque de los arcos.

En este período se restaura la “Sala Fundición Atarazanas” (Fig. 15), cuyo cometido era doble: motivar con la convocatoria a la asistencia de espectáculos y actos culturales la visita de las Atarazanas, y mostrar un fragmento de la misma completamente recuperado”.

FIGURA 15
SALA FUNDICIÓN ATARAZANAS (MOLINO, 2015)



Exceptuando la restauración citada, es cierto que las Atarazanas han estado bastante abandonadas, sin que se hiciera viable una restauración completa.

4. EL CONCURSO NACIONAL DEL CAIXAFORUM

En 2009 la Junta de Andalucía le cedió el edificio a la Caixa por un periodo de 75 años a fin de que construyera en él un centro de difusión cultural denominado CaixaForum. En dos ocasiones durante el curso 2011-2012, La Caixa tuvo el detalle de invitar a los presidentes de las Academias sevillanas para que el arquitecto Guillermo Vázquez Consuegra nos presentara el proyecto del CaixaForum que ganó el concurso planteado en su día. En esta visita el arquitecto nos indicó que se iba a gastar poco dinero en la reparación de los arcos, bóvedas y pilastras.

Durante estos actos se nos recordó que un CaixaForum no tiene exposiciones permanentes, sino sólo exposiciones y actividades transitorias, y que esto fue comunicado a la Junta de Andalucía y al Ayuntamiento de Sevilla en el momento de su concesión.

Para una Sevilla que había perdido en poco tiempo los museos que se fueron a Málaga (Tyssen, Pompidou y San Petersburgo), el CaixaForum podría proporcionarnos las actividades que ya tienen sus homónimos de Barcelona y Madrid, y, por tanto, se trata de una obra a la que debían darse todas las facilidades.

La solución aprobada proponía dejar la parte inferior donde están las naves como una gran plaza cubierta y abierta a la ciudad, llevando todo el peso encima de las bóvedas (Fig. 16). Si alguna ventaja tenía este proyecto era no tocar la parte inferior donde están las arcadas, lo que permitiría alguna excavación posterior.

FIGURA 16
SOLUCIÓN GANADORA DE GUILLERMO VÁZQUEZ CONSUEGRA



La Figura 17 muestra la solución del equipo de Antonio Barrionuevo, que propugnaba excavación hasta la base de las pilastras en las naves 4, 5 y 6.

FIGURA 17
SOLUCIÓN DEL EQUIPO DE ANTONIO BARRIONUEVO



La Figura 18 muestra la interesante solución del equipo de Iñiqui Ábalos, que proponía una excavación progresiva, con la que podrían evitarse muros verticales.

FIGURA 18
LA PROPUESTA DE IÑAQUI ÁBALOS



4.1. El proyecto Galea Magna Atarazanas

Una vez adjudicado el edificio al Caixaforum, la Fundación Atarazanas presentó en 2011 un proyecto de rehabilitación que tenía como principal objetivo la recuperación de los astilleros medievales de Sevilla en un área que abarcaría tres de las siete naves actuales, incorporando la fabricación de una de las primeras galeras que ordenó construir Alfonso X (Fig. 19).

**FIGURA 19
PROYECTO DE JUAN CARLOS GÓMEZ DE CÓZAR E IÑIGO ARIZA**



Para ello, "se bajaría la cota de suelo en las naves cuatro, cinco y seis a su nivel original del siglo XIII, es decir cinco metros y medio por debajo del suelo actual, potenciando con ello la volumetría arquitectónica del edificio.

La Fig. 20 muestra una vista del proyecto desde la nave 4. Obsérvese el juego de volúmenes en este proyecto.

**FIGURA 20
VISTA DEL PROYECTO DESDE LA NAVE 4**



5. LA RESTAURACIÓN DE LAS ATARAZANAS

A finales de 2012, La Caixa anunció que construiría el CaixaForum en otro lugar de la ciudad, y concluyó con un acuerdo con la Junta de Andalucía por el que la entidad financiera invertiría 10 millones de euros en otro proyecto cultural distinto en las Atarazanas. Y qué mejor que una restauración de las Reales Atarazanas, que tienen, de por sí, la suficiente entidad para ser el objeto final del proyecto.

Ahora empezamos a darnos cuenta que la gran plaza de Vázquez Consuegra era una plaza sin sol, tal vez buena para el verano.

Dentro de esta rehabilitación habría que examinar todas y restaurar algunas bóvedas, las cubiertas y, supongo, excavar parcialmente el relleno colocado cuando las Atarazanas se convirtieron en almacén, para que podamos ver cómo eran aquellas Atarazanas. No se trataba, como alguien ha deslizado, de tirar el Hospital de la Caridad (importantísimo en la historia de Sevilla) ni el cuerpo delantero del siglo XVIII, ni, Dios nos libre, la Delegación de Hacienda. Se trata sólo de preservar las 7 naves que, milagrosamente, se han librado de modificaciones y agresiones. Para ello, era esencial no añadir ningún peso innecesario por encima de las bóvedas.

La excavación hay que estudiarla cuidadosamente y no es necesario ni funcional, ni estética ni económicamente que sea completa. Los muros que figuran en la planta de Cartografía del ejército de 1725 podrían ayudar en las excavaciones. Una de las mayores dificultades para la excavación y la posterior estabilidad de la obra reside en la profundidad del nivel freático. Según los sondeos arqueológicos y los recientemente efectuados por el arquitecto, podemos colegir que podría haber un nivel freático colgado a una profundidad de 1,85-2,3 m y un nivel freático general conectado con el río a una profundidad mínima de 5,82 metros. La excavación máxima que habría que realizar sería de 5 metros.

Para ello Sevilla necesita el apoyo de la Caixa. Ningún reparo al arquitecto, de conocida fama internacional, pero sí al proyecto presentado en ese momento. El peso del salón de actos y la cafetería que se pretendían construir encima de las bóvedas exigían un refuerzo de la cimentación que dificultaría ulteriores excavaciones. ¿Es interesante una plaza sin sol? ¿Necesita Sevilla este proyecto de no restauración de las Atarazanas? No sólo no se iba a excavar, sino que se iba a rellenar el metro que excavó Antonio Barrionuevo.

Uno de los pilares de las Atarazanas fue totalmente descubierto. La Fig. 21 muestra una imagen de la excavación en la nave 7 del astillero. La cata realizada en la nave 7, descubrió una pilastra hasta su base, cota -6--6,6 m desde la actual solería.

A partir -6,0 m y hasta -8 a -11 m, aparece terreno natural y corresponde a unas arcillas limosas, de baja plasticidad. A más profundidad, las características resistentes del terreno aumentan, apareciendo el rechazo entre los -24,00 y -26,00 m.

La Tabla 1 muestra el corte del terreno.

FIGURA 21
EXCAVACIÓN EN LA NAVE 7 DEL ASTILLERO

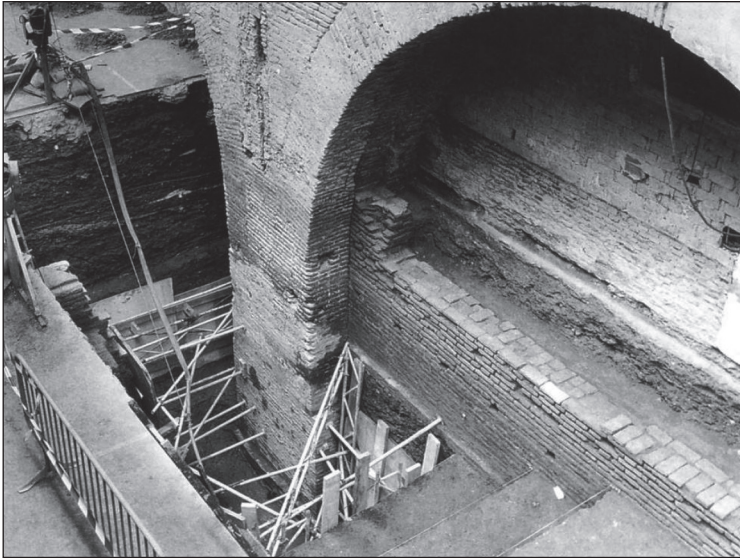


TABLA 1
CORTE DEL TERRENO (3/1996)

Material	Prof. m	USCS	N g/30cm	q_u kPa	c' kPa	ϕ'
Relleno limo-arcillo-arenoso con cascotes	4,7-5,1					
Cimentación	6-6,6					
Arcilla	6,8-12,5	CL	9-19	49-61	7-26	22°-29°
Limo	8,1-11	ML				
Arena	18,7		23-36			
Zahorras	22,9		56-77			
Marga azul						

5.1. La solución de Julia Molino

La solución que propone Julia Molino en su tesis doctoral sobre las Atarazanas se muestra en la Figura 22.

FIGURA 22
SOLUCIÓN DE JULIA MOLINO



8. LA SUSPENSIÓN DE LA LICENCIA

ADEPA presentó un recurso contencioso administrativo contra la licencia concedida por la Gerencia de Urbanismo el 8 de enero de 2016. Se basa fundamentalmente en el refuerzo de anclajes necesario para contrarrestar el peso añadido encima de las cubiertas. Este refuerzo dificultaría ulteriores excavaciones. Este recurso es estimado por el Juzgado de lo Contencioso Administrativo N.º 9 de Sevilla, el 20 de octubre, que ordena la suspensión de las obras, en cuanto que podrían causar perjuicios irreversibles en el edificio.

9. EL ACUERDO SOBRE LAS REALES ATARAZANAS

El 30 de diciembre de 2017 tuvo lugar un acto en las Reales Atarazanas por el cual se presentaba ante la prensa, la firma por parte de la Consejería de Cultura, la Fundación bancaria La Caixa y ADEPA de un documento, con el consentimiento del Ayuntamiento, por el cual se comprometían a realizar una serie de cambios en el proyecto que garantizaban la puesta en valor de las tres etapas históricas que, como ha destacado José García Tapial, confluyen en él.

Fue una larga porfía para convencer a los que pretendían mantener el proyecto como estaba (una plaza sin sol, pero con cafetería y más peso por encima de sus bóvedas) y a los que pretendían poner como condición “sine qua non” la excavación a toda costa de la totalidad del recinto.

Este acuerdo fue un triunfo para todos: para la Caixa, financiadora del proyecto, el Ayuntamiento y la Fundación Cajasol, que van a disponer del más antiguo monumento cristiano de la ciudad.

También para la Junta de Andalucía que ha flexibilizado sus posturas, para las Academias, parte de cuyas peticiones han sido finalmente aceptadas, para el arquitecto, proyectista de la obra, y sobre todo, para Sevilla, que va a disponer de un centro que va a recibir con seguridad miles de visitantes.

Un precedente es el de la Cisterna de Estambul, proveía agua para el gran palacio de Constantinopla, hoy para el palacio Topkapi. Construida en 532 por Justiniano.

Se restaura entre 1985 y 1987 (Fig. 23), extrayéndose 50.000 toneladas de barro durante su restauración. Recibió, en 2017, 1.150.000 turistas. Inteligente restauración.

FIGURA 23
LA CISTERNA DE ESTAMBUL



Como señala José García Tapial, este acuerdo debe respetar las tres etapas que coexisten en el edificio.

De la primera permanece el muro almohade de la barbacana en la fachada del fondo del edificio.

La segunda etapa corresponde a las atarazanas cristianas de 1252, construidas por Alfonso X el Sabio. Según Ortiz de Zúñiga, allí se constituye una armada perpetua de 10 galeras, cada una con dos compañías de soldados, siempre armada y aparejada.

En 1782-1783, bajo Carlos III, la importancia que adquiere la Maestranza de Artillería de Sevilla conlleva una nueva operación arquitectónica que configura el edificio y su emblemática fachada tal como hoy se ve, con lo que estamos en la tercera etapa.

No se puede decir que ya se hayan terminado los problemas, que requiere un proyecto cuidadoso adaptado al acuerdo, donde las excavaciones serán obras singulares que hay que repensar. También debe colocarse la instrumentación adecuada para detectar cualquier movimiento inadecuado del edificio, sin olvidarse de que la adición de peso a los pilastrones debe ser mínima.

En definitiva, se inicia un período subyugante para la obra y para la ciudad de Sevilla que esperamos se resuelva con el cariño que esta obra merece.

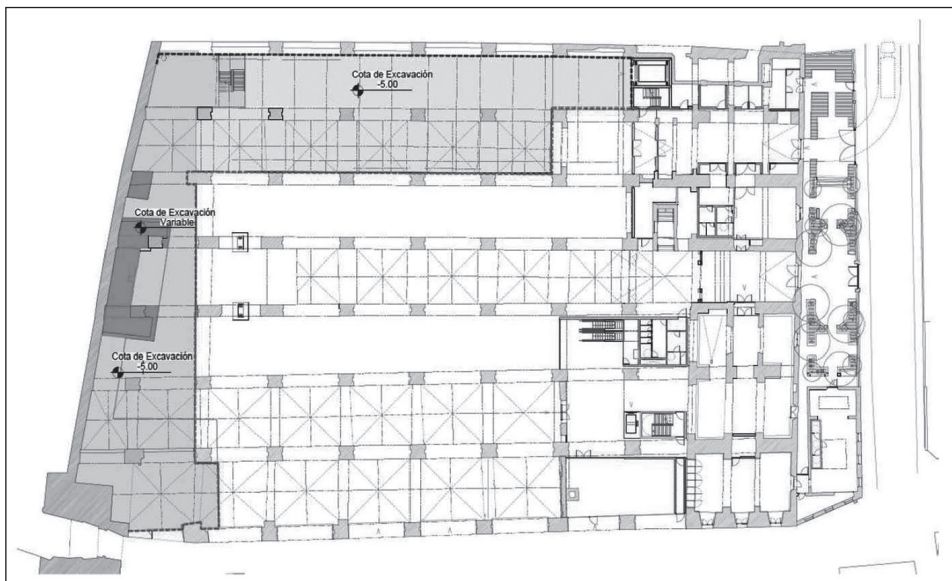
10. EL PROYECTO DE EJECUCIÓN DEL EDIFICIO DE LAS REALES ATARAZANAS

En el proyecto de ejecución, que ha recibido ADEPA, aparecen algunas discrepancias con el acuerdo firmado. Considero que sólo las variaciones que contravienen claramente el convenio establecido entre Adepa y la Junta de Andalucía pueden ser objeto de reclamación.

Decir que la entrada debe estar visibilizada por la calle Temprado es obvio, pues, aparte de hacer que el visitante recorra los tres elementos patrimoniales en orden inverso de fechas, la entrada siempre ha estado ahí. Además, se establece claramente en el convenio. Estoy seguro de que con muy poco esfuerzo arquitectónico se puede cumplir esta condición.

La Figura 24 muestra el plano de excavaciones en el Proyecto de Ejecución.

FIGURA 24
PLANO DE EXCAVACIONES EN EL PROYECTO DE EJECUCIÓN



La inclusión en la excavación de las filas de pilastras excluidas en este plano haría que el visitante las viera más que los muros modernos para la excavación, que quedarían parcialmente tapados.

En la medianera con el Hospital de la Caridad, debería darse una solución arquitectónicamente estética y segura, con la protección del muro medianero.

Creo que todos queremos que no haya incidencias ni aparezcan grietas durante las excavaciones. Evidentemente la responsabilidad es del arquitecto y de su equipo de asesores, pero en un examen rápido del proyecto de ejecución se quieren hacer las siguientes puntualizaciones, ya esbozadas en el examen del proyecto básico:

1. La investigación del terreno realizada es insuficiente.
2. Las hipótesis para la obtención de los parámetros de cálculo no se indican.
3. Los límites establecidos en el proyecto de ejecución para las deformaciones son excesivos para construcciones antiguas.
4. Los cálculos realizados para las pantallas, cuyas hipótesis tampoco se indican, deben ser complementadas con cálculos por elementos finitos.

El arquitecto cuenta con un equipo asesor de altura, que espero que tenga en cuenta estas advertencias. Termino esta conferencia con el deseo de que tanto la Junta de Andalucía, como La Caixa, como el arquitecto, sólo vean en él un deseo de mejorar tanto la restauración como la seguridad del BIC.

II. REFERENCIAS

AMORES, F. (2018), *Archivo Hispalense*, 306-308: 37-63.

BARRIONUEVO, A. y MOLINO, J. (1999), “La arquitectura de las Atarazanas. Permanencia y transformación” en *“Recuperando las Atarazanas. Un monumento para la cultura”*. Sevilla,

MOLINO, J. (2015). “Aspectos arquitectónicos de las atarazanas de Sevilla. Permanencia y transformación”. Tesis doctoral.

ORTIZ de Zúñiga (, cuyo cometido era doble: motivar con la convocatoria a la asistencia de espectáculos y actos culturales a la visita de las Atarazanas, y mostrar un fragmento de la misma completamente recuperado”.

LA FILOSOFÍA ANTE LA CRISIS ACTUAL EN LA FÍSICA TEÓRICA

*Conferencia pronunciada por el
profesor Francisco José Soler Gil,
dentro del ciclo “Historia y Filosofía
de la Ciencia y de la Técnica”,
el día 17 de febrero de 2020.*

El título de la charla da por supuesto, en primer lugar, que la física teórica se encuentra actualmente atravesando una crisis. ¿Pero está ocurriendo realmente algo así? ¿En qué sentido cabe hablar hoy de “crisis” en la física? Y, en segundo lugar, el título sugiere que la filosofía ha desempeñado, o puede llegar a desempeñar, un papel en esta crisis. ¿Pero qué tipo de papel? ¿Ha contribuido la filosofía a generar la crisis? ¿Puede contribuir a agravarla?

¿O se trata, por el contrario de que la filosofía podría de algún modo formar parte de la solución de la misma? Estas son las preguntas que espero ir respondiendo en los minutos siguientes.

Antes que nada, me gustaría hacer una precisión terminológica. Las reflexiones siguientes van a referirse a la situación actual de las disciplinas que exploran la frontera de lo más pequeño (o sea, la llamada “física de partículas”), la frontera de lo más grande (es decir, la “cosmología física”) y la de las leyes más fundamentales de la naturaleza (actualmente las “teorías cuánticas” y las “teorías de la relatividad (especial y general)”. Soy consciente de que al reducir estos campos en el título al término “física teórica” cometo por mor de la brevedad una imprecisión –o incluso un cierto “atropello”–, puesto que tanto en el estudio de las partículas como en el del universo, o en el de las leyes básicas de la naturaleza, es preciso conjugar los aspectos teóricos con los experimentales, que no son en modo alguno menos importantes. Espero, no obstante, que no se tome a mal el término elegido, puesto que en el problema sobre el que va a girar esta charla las teorías (y los modelos teóricos) se encuentran situados en un foco muy principal de atención. Alternativamente, también podría haber titulado la charla “La filosofía ante la crisis actual en la física fundamental”... pero, como todas las denominaciones breves, esta también habría comportado sus problemas.

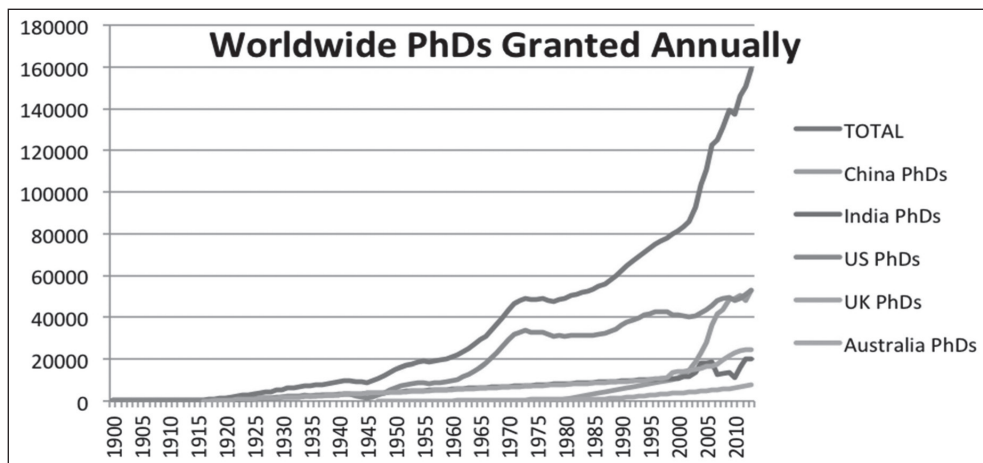
Volvamos, no obstante, a las cuestiones iniciales: ¿Estamos realmente inmersos en una crisis de la física teórica, o de la física fundamental? Y en caso afirmativo, ¿de qué tipo de crisis se trata? ¿Y se trata de una crisis tan sólo de cierta rama de la física, o más bien de la física en general, o incluso del conjunto de la ciencia?

Conviene que aclaremos en primer lugar estos puntos, antes de entrar en la exploración de las posibles conexiones del tema con la filosofía.

1. ¿CRISIS? ¿QUÉ CRISIS?

A primera vista, la situación que están viviendo las ciencias en general, y la física en particular, y dentro de ella la física teórica, no es de crisis, sino de un florecimiento sin par en la historia: Nunca ha habido más científicos activos que en la actualidad, ni se ha invertido nunca más dinero en la investigación científica que ahora, ni se han producido más artículos de investigación que en estos momentos. También en el terreno de la física teórica.

Basta considerar, por ejemplo, la siguiente gráfica del crecimiento en el número de becarios doctorales de ciencia en el mundo¹, entre 1900 y la actualidad:



A partir de esta gráfica puede calcularse, por ejemplo, que aproximadamente el 90% de los científicos de toda la historia de la humanidad son científicos vivos en la actualidad (y es de suponer que en su mayor parte continúan activos aún)².

Y las gráficas que se refieren al número de publicaciones científicas, o a las inversiones públicas y privadas destinadas a la investigación científica, presentan una forma prácticamente idéntica a la anterior: un crecimiento exponencial que nos sitúa ahora en cifras que difieren en dos órdenes de magnitud de las que se manejaban a principios del siglo XX.

Es decir, que nunca ha habido más científicos, ni se ha invertido más en ciencia, ni se han producido más publicaciones científicas que en estos momentos. Y esto, que vale

1. Fuente: <https://futureoflife.org/2015/11/05/90-of-all-the-scientists-that-ever-lived-are-alive-today/?cnreloaded=>

2. Eric Gastfriend, «90% of All the Scientists That Ever Lived Are Alive Today». En: <https://futureoflife.org/2015/11/05/90-of-all-the-scientists-that-ever-lived-are-alive-today/?cn-reloaded=1>

para la ciencia en general, también se aplica a la física, y dentro de ella al estudio de las teorías fundamentales y las fronteras de lo grande y lo pequeño.

Y, sin embargo, pese al crecimiento explosivo en el número de científicos, de fondos y de publicaciones al que asistimos sobre todo desde comienzos del siglo XX, en las últimas décadas se ha comenzado a escuchar referida a la ciencia la palabra “estancamiento”, cuando no incluso “declive”.

Uno de los primeros autores en dar la voz de alerta fue el periodista científico John Horgan, con su libro “El fin de la ciencia”³, publicado en 1996. Este libro produjo un gran impacto en el momento de su publicación. Y aunque en la obra se cuestiona la posibilidad de futuros grandes avances en campos científicos muy diversos, su lectura hoy, casi un cuarto de siglo después, impresiona sobre todo al lector interesado en la física. Y lo hace porque todos los retos al avance de esta disciplina mencionados en el capítulo correspondiente (desde la justificación de la hipótesis inflacionaria en cosmología hasta la búsqueda de una teoría final unificada de las fuerzas fundamentales, pasando por la clarificación del problema interpretativo en la teoría cuántica) continúan hoy prácticamente en el mismo punto en el que se encontraban entonces.

Un hito muy importante en la toma de conciencia de la crisis de la física teórica contemporánea lo constituyó el libro “Las dudas de la física en el siglo XXI”⁴ (título original: “The trouble with physics”) del físico norteamericano Lee Smolin, publicado en el año 2006, es decir, una década después de la obra de Horgan.

La importancia de este libro radica tanto en la precisa exposición de la crisis, como en el intento de Smolin de ofrecer un diagnóstico de las causas profundas de la misma, así como también algunas sugerencias de cara a intentar su superación.

La crisis actual de la física teórica, o de la física fundamental –digámoslo ya–, es una crisis de estancamiento. De que no se producen desde hace décadas más avances significativos ni en física de partículas, ni en cosmología, ni en la formulación de las teorías fundamentales.

Lo cual, si ya de por sí es grave –habida cuenta de la cantidad de preguntas abiertas hoy por hoy en estas disciplinas–, lo es más aún si tenemos en cuenta el contraste de este punto muerto con el crecimiento en dos órdenes de magnitud de los medios y el personal al servicio de esos progresos y esas respuestas que no llegan.

Ya en la introducción de su obra, Smolin lo expone, con toda crudeza, en los términos siguientes:

“El período de tiempo que abarca este libro, a partir de 1975, corresponde, a grandes rasgos, al de mi carrera como físico teórico. Tal vez sea uno de los períodos más extraños y más frustrantes de la historia de la física desde que Kepler y Galileo iniciaron la práctica de nuestro oficio hace alrededor de unos cuatrocientos años.”

3. La edición española es: Horgan, J., El fin de la ciencia, Editorial Paidós, Barcelona 1998.

4. Smolin, L., Las dudas de la física en el siglo XXI, Editorial Crítica, Barcelona 2007.

Habr  quien interprete la historia que voy a relatar como una tragedia. Por decirlo claro y en pocas palabras, y aunque eso signifique revelar el final, hemos fracasado. Heredamos una ciencia, la física, cuyo largo y rápido progreso se adoptó como el modelo que las demás ciencias deberían imitar; a lo largo de más de dos siglos y hasta la actualidad, nuestra comprensión de las leyes de la naturaleza fue en continuo aumento y, sin embargo, hoy, y a pesar de todos nuestros esfuerzos, lo que sabemos con certeza de estas leyes no es más de lo que sabíamos en los años setenta.

 Cu n inusual resulta que transcurran tres décadas sin que tenga lugar ningún avance significativo en física? Incluso echando la vista atrás más de doscientos años, observando un tiempo en el que la ciencia sólo ata a a un grupo de ricos aficionados, esta situación no tiene precedentes. Desde finales del siglo XVIII, por lo menos, se realizaban progresos significativos en cuestiones fundamentales cada veinticinco años”⁵.

Y si este era el estado de la cuestión en 2006, la situación hoy, en el año 2020, es tanto más grave cuanto que ha transcurrido casi década y media desde entonces sin que se haya producido ningún cambio significativo.

O mejor dicho, s  que se ha producido un cambio significativo... a peor. En el sentido de que entretanto ya hace una década que est  en marcha el gran acelerador de partículas LHC del Cern; y además se han desarrollado en estos años diversos métodos astrofísicos para estudiar la fenomenología del espaciotiempo en la escala de Planck, mediante la observación de fenómenos lejanos de altas energías; y se han multiplicado también los detectores de partículas cósmicas que se requerían para poner a prueba numerosos modelos explicativos de la supuesta “materia oscura” del universo. Y la diferencia con respecto a la situación existente al escribir Lee Smolin su obra es que, pese a todos estos medios nuevos, tanto los datos del Cern como los datos astrofísicos sólo han servido hasta ahora para confirmar la física existente, y para descartar una gran cantidad de propuestas teóricas mediante las cuales se pretendía que la física fundamental diera nuevos pasos adelante.

De manera que, sin exagerar en absoluto, cabe afirmar que el estado en el que nos encontramos ahora es que las dos generaciones de físicos teóricos más numerosas y preparadas de la historia no han conseguido avanzar nada en el descubrimiento de la estructura de la naturaleza.

Por supuesto que se han producido descubrimientos importantes en este periodo de tiempo. Entre ellos, quizás los más destacados sean el de la expansión acelerada del universo (descubierta en 1998), el del bosón de Higgs (detectado en 2012), y la primera observación directa de ondas gravitatorias (en 2015). Pero el primero de estos fenómenos encaja dentro de la actual cosmología estándar (en forma de una constante cosmológica negativa), y tanto la existencia del bosón de Higgs como la de las ondas gravitatorias eran predicciones de teorías ya bien establecidas en la física desde hace muchas d ca-

5. Smolin, L., Las dudas de la física en el siglo XXI, Editorial Crítica, Barcelona 2007, p. 10.

das. Lo que se necesitaba, para salir del estancamiento, era encontrar fenómenos que respondieran a modelos teóricos nuevos, desarrollados para ir más allá de las teorías estándar de la física. Pero esto no ha ocurrido.

El análisis de la situación actual de la física teórica que más discusión ha generado últimamente es el ensayo “Perdidos en las matemáticas”, publicado en 2018 por la física alemana Sabine Hossenfelder⁶. La pintura que se traza en ese libro es inequívoca:

“En los primeros años de funcionamiento, el LHC proporcionó una partícula que se denomina Bosón de Higgs y cuya existencia ya había sido predicha en los años 60. Mis colegas y yo albergábamos grandes esperanzas de que este proyecto multimillonario proporcionaría algo más que la mera confirmación de cosas de las que no dudaba nadie. Nosotros habíamos encontrado algunas grietas prometedoras en los fundamentos [de la física], que nos habían convencido de que el LHC produciría más partículas aún no descubiertas. Nos equivocamos. El LHC no descubrió nada que sirviera de apoyo a nuestras recién inventadas leyes de la naturaleza.

A nuestros amigos astrofísicos no les fue mejor. En los años 30 habían descubierto que los cúmulos de galaxias contienen mucha más masa de la que se obtendría sumando toda la materia visible. [...] Y así inventaron nuevas leyes de la naturaleza, teorías sin confirmar que servirían de guía para la construcción de detectores que deberían poner a prueba sus ideas. Desde los años 80 hay docenas de equipos de experimentadores persiguiendo esas hipotéticas partículas de la materia oscura. Pero no encuentran ninguna. Las nuevas teorías siguen estando sin confirmar.

Igual de desolado es el panorama en la cosmología, donde los físicos tratan inútilmente de entender por qué el universo se expande aceleradamente, un fenómeno que se atribuye a la “energía oscura” [...] pero sin que hasta ahora hayan podido descubrir nada que sirva de apoyo a sus nuevas teorías explicativas de la energía oscura”⁷.

Y si la falta de confirmación empírica de todos y cada uno de los nuevos modelos desarrollados por dos generaciones de físicos teóricos ya supone una circunstancia anómala en la historia de la física, más grave aún es la tendencia de ciertos especialistas, que tanto Horgan en 1996 como Smolin en 2006 y ahora Hossenfelder en 2018 vienen denunciando, y que es una tendencia que parece ir en aumento, a proponer teorías prácticamente imposibles de contrastar con datos empíricos. Sabine Hossenfelder lo resume así:

6. Hay traducción española: Hossenfelder, S., Perdidos en las matemáticas, Editorial Ariel, Barcelona, 2019. No obstante las citas de este libro en el presente texto están traducidas directamente por mí de la versión alemana del mismo: Hossenfelder, S., Das hässliche Universum, S. Fischer Verlag, Frankfurt am Main 2018. El libro apareció inicialmente en inglés en 2018 con el título «Lost in Math» en la editorial Basic Books, de Nueva York. La traducción alemana que he manejado es de la propia autora.

7. Hossenfelder, S., Das hässliche Universum, S. Fischer Verlag, Frankfurt am Main 2018, p.16-17.

“En los veinte años de mi actividad en la física teórica he visto a la mayor parte de los científicos que conozco hacer carrera investigando cosas que nadie ha visto jamás. Han tramado teorías descabelladas, como la de que nuestro universo no es más que uno entre un número infinito de universos, que constituyen juntos un “multiverso”. Han inventado docenas de partículas nuevas y han explicado que somos proyecciones de un espacio de más dimensiones que se engendra por medio de agujeros de gusano que conectarían lugares muy distantes entre sí.

Estas tesis son muy controvertidas, pero extremadamente populares; son especulativas, pero fascinantes; bellas, pero inútiles. La mayor parte de las tesis son tan difíciles de poner a prueba que prácticamente resultan incontrastables. Y todas ellas son defendidas por teóricos que están convencidos de que sus fórmulas matemáticas contienen un núcleo de verdad sobre la naturaleza. Sus teorías son, según creen ellos, demasiado buenas como para ser falsas”⁸.

Ya Horgan se había referido en su libro “El fin de la ciencia” a este tipo de especulaciones inaccesibles a la confirmación o refutación empírica con el apelativo de “ciencia irónica”. Y Smolin, en “Las dudas de la física en el siglo XXI” había descrito con exactitud el mecanismo que lleva desde el fracaso empírico de ciertos modelos, no a su abandono, sino a la complicación de los mismos de cara a hacerlos incontrastables. Invulnerables a cualquier dato:

“Los nuevos fenómenos [previstos por los teóricos] no se observan tan deprisa o no coinciden con las observaciones. Los teóricos, entonces [...] deben ocultar las consecuencias de una forma inteligente. No conozco ningún caso en los que esta ocultación de las consecuencias desembocara en una teoría aceptable”⁹.

No creo que sea necesario explicar la abundancia de este tipo de fugas de la teoría hacia lo incontrastable en una época en la que la naturaleza parece decidida a decepcionar todas las expectativas que se ponen en las nuevas teorías.

2. INDICIOS SUGERENTES

Ante una situación como la descrita, cabría preguntarse si realmente no puede estar ocurriendo simplemente que hayamos llegado al tope. A un plano de descripción física de la naturaleza ya no susceptible de ser profundizado. Si esto fuera así, se entendería el fracaso de todos los intentos de encontrar nuevas partículas, o nuevos fenómenos físicos en general, más allá de los predichos por las teorías actuales. Simplemente no existirían ni esas partículas ni esos fenómenos. Y no podría predecirse nada nuevo, porque no habría ningún plano más fundamental de la naturaleza que los ya descritos.

8. Hossenfelder, S., Das hässliche Universum, S. Fischer Verlag, Frankfurt am Main 2018, p.11-12.

9. Smolin, L., Las dudas de la física en el siglo XXI, Editorial Crítica, Barcelona 2007, p. 279.

Desde luego, resulta imposible descartar a priori tal posibilidad, es decir, mientras que no se encuentren justo las nuevas teorías exitosas que se están buscando. Hallándose la investigación en una etapa de estancamiento nunca va a haber forma de saber a ciencia cierta, mientras se esté en él, si ese estancamiento se debe a haber alcanzado el plano de descripción más básico posible, o si no se trata más que de un estadio provisional, que será superado. Ese es el riesgo de la investigación científica: no sólo el avance no está asegurado de antemano, sino que ni siquiera lo está su posibilidad.

Pero aunque no haya forma de aferrarse a garantías inequívocas, sí que hay indicios que apuntan a que la física actual no puede ser la última palabra en la descripción de la naturaleza. Contamos con indicios que sugieren que, por debajo del nivel de descripción de las teorías actuales, hay capas más profundas de la naturaleza que aún no hemos conseguido entender, pero a las que quizás lleguemos un día a tener acceso.

Por ejemplo, para sentir la sospecha de que esto es así, basta con reflexionar un poco sobre la imagen del plano fundamental de la materia que nos presenta el actual modelo estándar de la física de partículas.

Según este modelo, toda la materia conocida está compuesta a partir de las siguientes piezas básicas:

Las tres generaciones de la Materia (Fermiones)				
	I	II	III	
masa→	3 MeV	1.24 GeV	172.5 GeV	0
carga→	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$	0
spin→	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1
nombre→	u up	c charm	t top	γ photon
Quarks	6 MeV	95 MeV	4.2 GeV	0
	$-\frac{1}{3}$	$-\frac{1}{3}$	$-\frac{1}{3}$	0
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1
	d down	s strange	b bottom	g gluon
Leptones	<2 eV	<0.19 MeV	<18.2 MeV	90.2 GeV
	0	0	0	0
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1
	ν_e electron neutrino	ν_μ muon neutrino	ν_τ tau neutrino	Z fuerza débil
	0.511 MeV	106 MeV	1.78 GeV	80.4 GeV
	-1	-1	-1	±1
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1
	e electron	μ muon	τ tau	W[±] fuerza débil
				Bosons (Fuerzas)

La física de partículas actual describe satisfactoriamente las interacciones entre estas piezas elementales. Y cómo se combinan entre sí para dar lugar a partículas de niveles superiores, tales como los protones, los neutrones, los núcleos atómicos, los átomos y las moléculas, etc., en esa escala que peldaño a peldaño va ascendiendo hasta las entidades extremadamente complejas de nuestro mundo de la experiencia ordinaria.

Pero si se considera esta tabla, surgen enseguida preguntas que la física actual no puede responder, pero que parecen muy naturales. Por ejemplo, ¿por qué hay tres “familias” (o tres “generaciones”) de partículas que poseen exactamente la misma estructura,

pero se diferencian en su masa? No se sabe. Como tampoco se sabe por qué la diferencia de masa entre las partículas de una y otra familia es justo la que es, y por qué esa diferencia es tan grande de una a otra.

Si el plano de descripción física alcanzado hasta ahora fuera el último, estas preguntas no tendrían respuesta. Habría que conformarse con encogerse de hombros y decir simplemente “es así, y ya está”. Pero la historia nos anima a no conformarnos con esta actitud.

Recordemos, por ejemplo, la situación en la que se encontraba la física cuando en 1869 (y luego en versión modificada en 1871) el químico ruso Dmitri Mendeléyev publicó la Tabla Periódica de los Elementos. La tabla era sorprendente: agrupaba los elementos en familias atendiendo a sus propiedades químicas, e inducía a sospechar que los huecos que aparecían aquí y allá en la tabla correspondían a elementos aún no encontrados, de los que se podían predecir sus propiedades... Y, en efecto, las predicciones de la tabla de Mendeléyev se fueron cumpliendo...

Importa, sin embargo, subrayar que en los años en los que se estaban realizando tales avances aún no se sabía nada sobre la estructura de los átomos. Y que fue el desvelamiento de dicha estructura, a partir de los trabajos de Thomson (descubridor del electrón en 1897), y de Rutherford (que formuló el modelo del núcleo y la corteza en 1911), así como el desarrollo de la mecánica cuántica lo que permitió entender la estructura que subyacía a la tabla periódica y le daba sentido.

Podríamos formularlo así: Las regularidades de la Tabla Periódica estaban sugiriendo la existencia de un plano más básico de la realidad física que permitiera explicarlas. Y, del mismo modo, las regularidades en la tabla de las generaciones de partículas elementales de la física actual parece estar indicándonos que existe otro plano más básico, o que existe al menos otra teoría más fundamental, que da sentido al peculiar ordenamiento que percibimos.

Por este motivo, el físico de partículas no puede conformarse con el nivel de conocimiento logrado hasta ahora, por mucho que todos los experimentos realizados en el mayor de los aceleradores de partículas actuales confirmen sin fisuras el modelo estándar de su disciplina.

Lo mismo que el astrofísico no puede conformarse con indicar que la mayor parte de la materia del universo no puede ser materia bariónica ordinaria, sin tratar de averiguar qué es esa materia desconocida que de momento sólo se manifiesta por su masa.

Y lo mismo que el cosmólogo no puede dejar de preguntarse el por qué de la aceleración de la expansión del universo, ni de sospechar que tal vez exista una conexión entre ese fenómeno y algunos de los otros enigmas que siguen abiertos en la física fundamental.

Y aún hay más enigmas de este tipo, como por ejemplo el hecho de que todas las fuerzas fundamentales de la física sean de naturaleza cuántica menos la gravedad. O el hecho mismo de que se den distintos tipos de fuerzas fundamentales que (de momento) no han podido ser entendidas como manifestaciones de una fuerza unificada, a pesar de que la historia de la física sugiere la unificación, debido a que los hitos principales de la historia de la física han estado ligados precisamente a logros en ese sentido (la

unificación newtoniana de la mecánica celeste y terrestre, la unificación maxwelliana de la electricidad y el magnetismo, la teoría electrodébil...)

En definitiva, la pintura de la naturaleza que traza la física actual nos incita a pensar que nos encontramos meramente en un estadio intermedio del conocimiento de la naturaleza, y que aún debemos descubrir teorías más profundas, que vendrán avaladas por nuevos fenómenos previstos por ellas... Pero ya hace décadas que estos fenómenos no se observan. Las predicciones no se cumplen. Las nuevas partículas no aparecen. Y los fracasos no impiden que los modelos teóricos preferidos por el momento (la teoría de cuerdas, la cosmología inflacionaria, los modelos de supersimetría etc.) prosigan su desarrollo, cada vez más ingeniosamente protegidos contra la posibilidad de una refutación por datos empíricos del tipo que sea.

En esto estriba la crisis de la física teórica actual.

3. ¿Y EL PAPEL DE LA FILOSOFÍA?

Suele decirse que el primer paso para resolver un problema consiste en reconocer que se tiene. Ahora bien, ese primer paso, aunque necesario, rara vez es suficiente. Una vez dado, hay que ir más allá, preguntándose cosas como qué errores han conducido a la situación problemática que se vive. O qué factores actualmente están agravando la situación, o impidiendo una salida de la misma.

Cuando tales preguntas se plantean en el contexto de la presente crisis de la física teórica, se pone de manifiesto enseguida que son muy diversos los factores que pueden estar influyendo en el presente estado de cosas. Uno de ellos es, por ejemplo, el factor sociológico, que juega de varias maneras en contra de una salida. Esto se debe por una parte a que se han constituido entretanto ciertas comunidades de especialistas (como por ejemplo los teóricos que siguen el programa de la teoría de cuerdas) que tienden a aprovechar su posición en los departamentos y centros de investigación para facilitar el acceso a los mismos a otros miembros de esa comunidad, y dificultar el acceso a investigadores de programas alternativos. En parte también es debido a los filtros de revisión en las revistas especializadas, ya que los revisores tienden a aprobar contribuciones fácilmente enmarcables en los programas de investigación en marcha, al tiempo que tienden a rechazar propuestas poco ortodoxas, o novedosas. Y en parte también es debido a la dificultad de intentar abrirse paso hacia nuevos enfoques, una vez que uno ha dedicado considerable tiempo y esfuerzo a adquirir los conocimientos necesarios para trabajar en una determinada línea de investigación.

Hay más aspectos de esta temática sociológica. En el capítulo 16 de “Las dudas de la física en el siglo XXI”, que lleva el significativo título de “¿Cómo luchar contra la sociología?”, Lee Smolin, además de exponer con cierto detalle los puntos que acabo de mencionar, incluye otros, como por ejemplo la inercia que generan los controles administrativos de la calidad científica, asociados con las acreditaciones y las contrataciones:

“En relación con esto, conviene observar que las universidades de ahora están mucho más profesionalizadas que hace una o dos generaciones. Mientras que el profesorado de las universidades ha dejado de crecer, el número y el poder de los administradores se ha incrementado de manera significativa. Por tanto, a la hora de contratar, se confía menos en el juicio personal de los profesores y más en las estadísticas de éxitos y logros, como la financiación o la cantidad de veces que se citan artículos publicados por el candidato, lo que dificulta mucho a los jóvenes científicos nadar contra la corriente dominante y dedicarse a concebir nuevos programas de investigación”¹⁰.

Sin embargo, no todas las dificultades con las que se enfrenta la física fundamental, en la búsqueda de una salida al punto muerto en el que se encuentra, son de orden sociológico. Si atendemos a las voces que están dando la voz de alarma, la filosofía está también relacionada con la crisis. Aunque habría que especificar que, para estos autores, el problema no es tanto la filosofía como más bien el descuido de la filosofía. O la falta de formación y reflexión filosófica por parte de los físicos que trabajan en los campos de investigación fronterizos que se encuentran actualmente paralizados.

En su análisis, Lee Smolin sugiere que la comunidad científica se compone de investigadores que responden a dos tipos diferentes, que él denomina “artesanos”, y “videntes”. Los artesanos serían fundamentales a la hora de hacer progresar las disciplinas científicas cuando estas se encuentran en una fase de lo que el filósofo Thomas Kuhn denominaba “ciencia normal”. Pero, en cambio, durante las fases de una “revolución científica”, es decir, en los periodos en los que son los fundamentos mismos del trabajo que se ha venido haciendo los que se cuestionan y deben modificarse, entonces hacen falta videntes. Es decir, científicos que, aun siendo también especialistas, no poseen quizás tanta competencia técnica como los artesanos, pero en cambio tienen una perspectiva, obtenida en parte gracias al pensamiento filosófico (y también a la reflexión histórica sobre su disciplina) que les permiten identificar puntos cuestionables que los artesanos no logran ver:

“Es obvio que alguien tiene que identificar la suposición errónea que todos hemos hecho o plantear una nueva pregunta, y éste es el tipo de persona que necesitamos si queremos garantizar el futuro de la física fundamental. [...] No cabe duda de que escasean los científicos que tienen el talento de plantear preguntas genuinamente novedosas y relevantes, y que la capacidad de observar el estado de cosas de una especialidad técnica y de descubrir una suposición escondida o una nueva línea de investigación constituye una destreza muy diferente a las habilidades exigidas para el día a día que constituyen el requisito para ingresar en la comunidad de los físicos. Una cosa es ser un artesano extraordinariamente capacitado para la práctica de su oficio y una muy diferente es ser un vidente. [...]

10. Smolin, L., Las dudas de la física en el siglo XXI, Editorial Crítica, Barcelona 2007, p. 365.

Ésta es, pues, mi hipótesis fundamental acerca de los últimos veinticinco años de la física. No cabe duda de que nos hallamos en un periodo revolucionario. Estamos terriblemente atascados y necesitamos auténticos videntes, la necesidad es acuciante.

Sin embargo, ha transcurrido mucho tiempo desde la última vez que se necesitaron videntes [...]

Cuando yo estudiaba física en la década de 1970, casi parecía que nos estuvieran enseñando a despreciar a los científicos que reflexionaban acerca de los problemas fundamentales. A las preguntas sobre cuestiones fundamentales de la teoría cuántica, se nos respondía que nadie las entendía completamente, pero que eso ya no incumbía a la ciencia. Nuestro trabajo consistía en tomar la mecánica cuántica tal como nos la daban y aplicarla a nuevos problemas. El espíritu era pragmático: “Calla y calcula” era su mantra. Se consideraba perdedores incapaces de realizar el trabajo a quienes no pudieran dejar de lado sus recelos acerca del significado de la teoría cuántica”¹¹.

Se plantea entonces la duda de si, después de décadas de fomento de una mentalidad pragmática y artesanal, cabe esperar un florecimiento de científicos videntes como aquellos que, a principios del siglo XX, sentaron las bases de la física que ahora necesita una nueva revolución. Smolin, como es natural, incluye en esa añorada generación de espíritus libres y capaces de hacerse las preguntas clave a Bohr, a Heisenberg, a Schrödinger y a Einstein. Y no deja además de mencionar una famosa cita de este último:

“El conocimiento del contexto histórico y filosófico proporciona una cierta independencia respecto a los prejuicios que la mayoría de los científicos de esta generación tienen. Esta independencia que proporciona la comprensión filosófica es, en mi opinión, lo que distingue a un mero artesano o especialista de un auténtico buscador de la verdad”¹².

También Sabine Hossenfelder comparte estas opiniones de Einstein y de Smolin. Pero lo más interesante de su obra “Perdidos en las matemáticas” es que trata de matizar el análisis de forma que sea posible concretar más los pasos necesarios para la salida del atolladero de la física actual.

Hay un pasaje, casi al principio de su libro, que anticipa las ideas clave:

“La invención de nuevas leyes naturales –el desarrollo de las teorías– no se enseña en los cursos ni se explica en los libros de texto. En parte, los físicos lo aprenden estudiando la historia de la ciencia, pero asumen lo más de colegas más viejos, de amigos y mentores, de sus superiores y críticos. Transmitido de

11. Smolin, L., Las dudas de la física en el siglo XXI, Editorial Crítica, Barcelona 2007, p. 422-426.

12. Albert Einstein, citado en Smolin, L., Las dudas de la física en el siglo XXI, Editorial Crítica, Barcelona 2007, p. 424.

una generación a la siguiente, la mayor parte de ese arte se basa en la experiencia, en una intuición trabajosamente ganada acerca de lo que funciona. Cuando se les exige que juzguen las perspectivas de una nueva teoría que aún no ha sido sometida a prueba, los físicos acuden a conceptos tales como naturalidad, simplicidad o elegancia, así como al de belleza. Estos principios ocultos se encuentran por doquier en la física fundamental, y poseen una importancia incalculable. Y contradicen flagrantemente el imperativo científico de la objetividad.

Los principios ocultos nos han jugado una mala pasada. Aunque hemos planteado una gran cantidad de nuevas leyes de la naturaleza, todas ellas han quedado sin confirmar”¹³.

En relación con este pasaje, me gustaría llamar la atención sobre tres puntos:

- En primer lugar, el hecho de que haya “principios ocultos” que guían el trabajo de construcción de nuevas hipótesis teóricas en la física fundamental está indicando tanto la importancia clave que la filosofía tiene en este proceso, como también el carácter ambiguo de la aportación filosófica al mismo. Pues ocurre que esos principios ocultos son de naturaleza filosófica. Y concretamente son principios de filosofía de la naturaleza: Codifican lo que los científicos esperan del carácter de la naturaleza. Lo que esperan que la naturaleza realice y lo que esperan que no realice. Hossenfelder afirma que se transmiten de una forma poco reflexiva de una generación a otra (los investigadores jóvenes simplemente los toman de sus mentores). Y seguramente es así en la mayor parte de los casos, si bien convendría subrayar –volviendo a las reflexiones de Smolin– que en el caso de los científicos “videntes” la asunción de estos principios suele ser mucho más reflexiva. De hecho, una parte crucial de su aportación a las revoluciones científicas consiste en elegir las intuiciones filosóficas sobre el carácter de la naturaleza que van a guiar a los físicos posteriores. Esta aportación es, insisto, de una importancia capital. Pero también ambigua en el sentido de que las tesis filosóficas que se transmiten pueden contribuir a realizar avances en la disciplina, pero también pueden conducir a su parálisis, cuando los principios ocultos resultan tener una validez limitada, y no se corresponden con el modo de ser de la naturaleza más allá de un cierto nivel de aproximación.
- En segundo lugar, el carácter irreflexivo de la transmisión habitual de los “principios ocultos” permite entender dónde se encuentra el problema, si es que algunos de tales principios son realmente los responsables de la actual crisis de estancamiento en la física fundamental: El problema es que sería preciso reflexionar sobre ellos. Que dejen de ser ocultos y pasen a ser explícitos, para discutir hasta qué punto tales o cuales principios pueden seguir siendo fiables como guía para la construcción de nuevos modelos teóricos. O si se requiere la revisión de al menos algunos de los que se han venido asumiendo hasta ahora. Pero para realizar esta

13. Hossenfelder, S., *Das hässliche Universum*, S. Fischer Verlag, Frankfurt am Main 2018, p.12.

tarea hace falta emprender una reflexión filosófica que, como indicaba Smolin sólo los científicos “videntes” son capaces de emprender. Y ese tipo de científicos no cuentan en estos momentos con mucho apoyo por parte de la comunidad.

- En tercer lugar, y en esto consiste la principal aportación de Hossenfelder al análisis de la crisis actual en la física teórica, ella misma pasa a intentar esa tarea de explicitación de los principios ocultos que estarían siendo la causa de los problemas. Y su tesis central, a cuyo desarrollo dedica todo el libro que estoy comentando, es que se trata de principios de naturaleza estética. El concepto de “belleza” englobaría a todos ellos. Pero esta belleza que los físicos tratan de plasmar en sus modelos se concretaría en los otros mencionados en este pasaje: “naturalidad”, “simplicidad”, y una “elegancia” que, como luego desarrollará, está sobre todo basada en ciertas ideas de simetría.

Por tanto, lo que Sabine Hossenfelder se propone en “Perdidos en las matemáticas” es mostrar cómo ciertas tesis filosóficas procedentes del campo de la estética son empleadas ampliamente e irreflexivamente en la construcción de los modelos teóricos de la física actual. Y sugerir además que sería preciso revisarlas, para salir del punto muerto en el que se encuentra esta disciplina. Esta tesis en realidad no es ajena a los planteamientos de Smolin, que ya en su libro sobre “Las dudas de la física en el siglo XXI” dedica el segundo capítulo a “El mito de la belleza”, y menciona los argumentos estéticos en otros pasajes posteriores. Pero es justo reconocer que el estudio de este tema se encuentra mucho más detallado en la obra de Hossenfelder.

4. UN MODELO DE LA INFLUENCIA DE LOS VALORES ESTÉTICOS EN LA INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA

Quizás a primera vista la tesis de Sabine Hossenfelder pueda parecer excesiva, o incluso fuera de lugar, puesto que la estética suele entenderse como una disciplina completamente alejada de las investigaciones de los físicos. Pero, aunque hay que ser prudentes a la hora de valorar el alcance que realmente puedan estar teniendo ciertos postulados estéticos en la crisis de la física teórica actual, lo cierto es que existe una dimensión estética en la dinámica de creación de modelos físicos. Que existe, y juega un papel muy importante en esa dinámica, como muestra simplemente el abrumador número de testimonios en este sentido de los principales protagonistas de la historia de la física. Y muy en especial de los grandes físicos del siglo XX. De Einstein a Dirac, de Heisenberg y Schrödinger a Gell-Mann y Chandrashekar, los reconocimientos del uso de criterios estéticos como guía de la propia investigación abundan por doquier entre los físicos de primera fila.

Por eso, quizás sea conveniente que dediquemos unas líneas a tratar de entender cómo puede darse esa influencia de la estética en la investigación científica.

De entre los filósofos que se han ocupado hasta ahora de este hecho, el estudio más destacado ha sido posiblemente el del filósofo británico James McAllister, que lo ana-

lizó extensamente en su obra “Belleza y revolución en la ciencia”¹⁴ –una obra que también Hossenfelder emplea con frecuencia como punto de apoyo para sus reflexiones–.

Según el análisis de McAllister, las teorías científicas, además de otros rasgos, poseen ciertas propiedades estéticas, en el sentido de propiedades bellas, o atractivas en algún sentido. En unos casos pueden ser ciertas formas de simetría las que la hagan atractiva. O bien, el hecho de que la teoría permita establecer una analogía entre el dominio descrito por ella y algún otro dominio natural mejor entendido. O bien el hecho de que la teoría permita una sencilla visualización, o bien que encaje fácilmente en el marco de ciertas cosmovisiones supuestas etc.

El hecho de que todas propuestas teóricas posean siempre algunas propiedades atractivas da lugar a que las teorías que logran una confirmación experimental terminen generando entre los investigadores una especie de “canon estético”, de modo más o menos reflexivo, o más o menos inconsciente. Un “canon estético” en el sentido de que las propiedades estéticas de cualquier nuevo modelo que se proponga serán comparadas con las propiedades estéticas de las teorías bien establecidas en ese campo, y en función de que se ajusten más o menos a ellas los especialistas contarán con un criterio intuitivo a favor o en contra del nuevo modelo.

En las épocas de ciencia normal, el canon de los criterios estéticos constituiría, por tanto, un filtro rápido para distinguir las líneas de trabajo prometedoras de las que posiblemente no lleven a ninguna parte. De manera que cuando los científicos afirman que tales propuestas o tales otras son “feas”, o son “bellas”, estarían realizando un juicio intuitivo basado en el canon estético vigente en una época dada.

Sin embargo, el problema surgiría cuando nos encontramos a las puertas de una gran revolución científica. Porque en ese caso las nuevas teorías que permitirán dar un salto cualitativo en el conocimiento científico poseerán propiedades muy diferentes de las que hasta entonces habían dado lugar al canon estético. Y eso implica, entre otras cosas, que es muy posible que inicialmente parezcan feas, y provoquen un fuerte rechazo emocional, que sólo una clara superioridad empírica logrará vencer.

Es decir que, según el análisis de McAllister, los criterios estéticos, mientras que resultan útiles para el progreso científico ordinario, pueden constituir un obstáculo para los grandes cambios que a veces son precisos, pues en ese caso orientan a los investigadores hacia direcciones equivocadas.

No tengo espacio aquí para detallar más estas ideas. Pero quizás se entiendan mejor simplemente recogiendo parte de una conversación que tuvo lugar entre Sabine

Hossenfelder y el premio Nobel de física Steven Weinberg, y que aparece recogida en “Perdidos en las matemáticas”:

–Hossenfelder: ¿Conoce el libro “Belleza y revolución en la ciencia” de un filósofo de la ciencia llamado McAllister?

–Weinberg: En realidad no.

14. McAllister, J., *Beauty and Revolution in Science*, Cornell University Press, Ithaca 1996.

- Hossenfelder: Intenta desarrollar más el concepto de las revoluciones científicas de Kuhn. McAllister afirma que cada revolución en la ciencia debe derribar los conceptos de belleza que los científicos han desarrollado.
- Weinberg: [...] En una revolución científica parece, desde luego, que hay que derrocar algo. [...] Considero que no es mala idea el pensamiento de que ese algo sea el juicio estético. Por ejemplo el giro copernicano ocurrió porque Copérnico opinaba que el sistema heliocéntrico era mucho más atractivo que el ptolemaico, y no debido a los datos. Él poseía claramente una concepción estética diferente que sus predecesores. Y a mi modo de ver la revolución newtoniana tuvo lugar porque Newton, a diferencia de Descartes, no encontraba fea la acción a distancia. [...] Fue un cambio en la estética. O también podría decirse que lo fue en los prejuicios filosóficos. No hay gran diferencia entre ambas cosas. [...] Sí. Este es un pensamiento interesante. Tendría que echarle un vistazo a ese libro”¹⁵.

El fragmento de conversación aquí recogido es interesante no sólo porque ayuda a clarificar los conceptos teóricos expuestos en los párrafos anteriores, sino también porque constituye un ejemplo de esa tarea filosófica de revisión de supuestos ocultos que suelen emprender los físicos más creativos cuando se enfrentan a una situación aporética en su disciplina.

Pero no obstante me gustaría concluir este apartado exponiendo una duda al planteamiento de Hossenfelder, y al uso que esta autora hace del análisis de McAllister:

Según ella, el problema que tiene la física teórica actual es que está trabajando con toda una serie de conceptos estéticos implícitos que impiden desarrollar teorías lo suficientemente novedosas como para salir del punto muerto en el que se encuentra en estos momentos la investigación. Ahora bien, lo cierto es que siempre ha existido, también en los periodos revolucionarios anteriores, ese obstáculo estético a las nuevas ideas. Y, sin embargo, eso nunca había impedido hasta ahora que surgieran autores como un Copérnico, un Kepler, o un Einstein, que imprimieran un giro de la física hacia direcciones nuevas, y motivaran la modificación del canon estético con sus trabajos.

¿Por qué eso no está ocurriendo (de momento) en este caso? ¿No podría ser esta diferencia un indicio de que los problemas actuales son más hondos, y que por tanto la explicación del punto muerto por los prejuicios estéticos resulta insuficiente para entender qué está pasando realmente? Debo dejar estas preguntas abiertas.

5. ¿UNA CRISIS DEL REALISMO CIENTÍFICO?

Antes de concluir las reflexiones de esta charla, me gustaría hacer referencia a otro posible obstáculo filosófico que puede estar contribuyendo a la actual parálisis de la física fundamental. Se trata de la creciente pérdida de la fe en el realismo científico.

15. Hossenfelder, S., *Das hässliche Universum*, S. Fischer Verlag, Frankfurt am Main 2018, p. 170-171.

Este asunto no aparece enfocado en las obras que he venido comentando a lo largo de las páginas anteriores, pero no obstante considero que podría estar jugando (sobre todo últimamente) un cierto papel en el tema que nos ocupa, así que trataré de esbozar el problema en líneas muy generales:

Desde luego, la mayor parte de los físicos son (o siguen siendo) realistas, en el sentido de que consideran que sus modelos no han de ser entendidos simplemente como ficciones útiles, que están ahí para ajustar con un esquema matemático los datos disponibles. Para ellos, más que simples herramientas de cálculo que funcionan, los modelos y las teorías existosas serían descubrimientos (todo lo parciales que se quiera) de la estructura racional profunda de la naturaleza. Y eso es lo que explicaría su éxito.

No obstante, este realismo científico está siendo muy cuestionado desde hace décadas desde el campo de la filosofía. Según los críticos, la idea de que existe un orden natural subyacente, y la idea de que el trabajo de los físicos consiste en descubrirlo constituirían una especie de residuo teológico que los científicos arrastran hasta hoy como herencia de los padres fundadores de la ciencia moderna (de Copérnico, de Galileo, de Kepler, de Newton...), que, como es bien sabido, interpretaban su actividad científica desde unas determinadas convicciones religiosas.

El filósofo de la ciencia Roberto Torretti formula este punto del modo siguiente:

“Los fundadores de la física moderna [...] se pusieron a buscar los artículos del código legal de la naturaleza. En los escritos de estos autores cristianos la palabra “ley” no significa el alcance universal de las regularidades establecidas, sino más bien la autoridad legislativa de su origen divino. [...]

Hoy en día pocos considerarían tolerable el basar la física en nuestro conocimiento de Dios. Sin embargo, una implicación de los compromisos teológicos siglo XVII ha permanecido como fuente de confusión. [...]

La idea de un mundo ya hecho sigue acosando a una tradición filosófica de la que la idea de que Hacedor se ha esfumado hace tiempo. [...] El sueño persiste de una teoría final de todo que representaría la verdadera estructura matemática del universo”¹⁶.

Dado que numerosos filósofos de nuestro tiempo comparten el enfoque expresado por Torretti, y se sienten acosados en el sentido que indica este autor, no puede sorprender que lleven décadas proponiendo interpretaciones de la actividad científica que no presupongan un orden natural cuyo descubrimiento fuera la labor de los científicos. Las teorías científicas –afirman– no son descubrimientos de un orden natural preexistente, sino construcciones sociales cuya realidad debe ser iluminada desde la perspectiva de la sociología de la ciencia.

Es preciso reconocer que las primeras exposiciones de las ideas constructivistas generaron una reacción bastante violenta en el seno de la comunidad científica, y particularmente entre los físicos. Algunos de ellos se lanzaron incluso a una serie de réplicas a los sociólogos y filósofos constructivistas de la ciencia, dando lugar a lo que se ha conocido como “las guerras científicas” de finales del siglo XX. Pero si bien es cierto que los modelos sobre la ciencia del constructivismo social de la década de los 80 o de los 90

del pasado siglo eran un tanto burdos, con el tiempo las posiciones se han ido refinando, y desde esta corriente se han propuesto modelos interpretativos de la actividad científica que pueden estar ejerciendo ya su influencia entre los investigadores.

Posiblemente el más refinado de los análisis constructivistas de la ciencia sea el que se presenta en sus últimas obras de Harry Collins, sociólogo de la ciencia británico que ha venido haciendo un seguimiento durante años –reflejado en varios libros– de la actividad de la colaboración científica LIGO17, desde sus investigaciones iniciales hasta el anuncio de la observación de la primera onda gravitacional por parte de esta colaboración.

Resumiendo en líneas muy generales su enfoque, Collins propone que la ciencia se entienda, no como la historia de un progresivo descubrimiento de la verdad, o sea, de la estructura real de la naturaleza, por medio de la aplicación de ciertos métodos, sino más bien como una actividad en la que en cada momento se realizan juicios técnicos, a partir de los datos y las teorías disponibles, de manera que todos los elementos (datos, teorías, expectativas, etc.) queden ajustados del modo más razonable posible en el momento de la realización de ese juicio:

*“La responsabilidad del científico consiste en hacer los mejores juicios técnicos, no en revelar la verdad. Representar cada juicio como una certeza calculada es anular la responsabilidad social. Ser un productor de certezas es, en el mejor de los casos, adscribirse a las ciencias no ejemplares: el rincón del mundo científico que ha dominado y distorsionado el pensamiento occidental por medio de ejemplos de lo que se proclama como un modo perfecto, y lo que es peor, accesible, de obtener conocimiento”*¹⁸.

Por tanto, lo que se sugiere desde este análisis es dejar de lado las cuestiones relativas a cómo pueda ser realmente la naturaleza, cuáles puedan ser los rasgos esenciales de su actividad, qué tipo fenómenos, o qué tipo de leyes cabe esperar. Y en lugar de utilizar de reflexiones sobre la realidad como guías para la búsqueda de modelos que luego deban ser comprobados más allá de toda duda razonable antes de anunciar un nuevo descubrimiento, ocuparse simplemente de interpretar los datos disponibles en un momento dado del modo más sencillo que se pueda con los modelos disponibles en ese momento. En eso consistiría la ciencia.

Evidentemente, desde esta perspectiva la pregunta por el orden objetivo de la naturaleza queda fuera del campo de visión, y con ella toda la red de implicaciones filosófico-teológicas asociadas con esa idea de un orden objetivo. Por lo que no es sorprendente el atractivo actual de la propuesta: Va con el espíritu de la época.

16. Roberto Torretti, *The Philosophy of Physics*, Cambridge University Press, Cambridge 1999, pp. 406 y 432-433.

17. LIGO es el acrónimo de la colaboración científica internacional «Laser Interferometer Gravitational-wave Observatory».

18. Collins, H., *Gravity’s Ghost*, The University of Chicago Press, Chicago 2011, p. 161.

Pero la otra cara de la misma es que incita al conformismo con el mejor ajuste posible de ideas y datos en un momento dado, y convierte en algo fuera de lugar el inconformismo de un Copérnico, de un Galileo, de un Kepler, o de todos esos físicos “videntes” (por usar la expresión de Smolin), que en lugar de conformarse con ajustar modelos y datos disponibles, se arriesgaron a proponer cambios radicales en la comprensión de la naturaleza desde el convencimiento de que la estructura real de la misma debía poseer ciertos rasgos estéticos (simplicidad, elegancia) imposibles de obtener desde un mero ajuste de los datos y las teorías aceptadas en su tiempo.

A mi modo de ver, la ciencia en el enfoque de Collins –o en general en el enfoque constructivista– es una actividad artesanal para gestionar los datos de un modo razonable. Y nada más. No debemos esperar, por tanto, que debajo del nivel de descripción actual de la física tenga que existir necesariamente un nivel profundo y simple cuyo desvelamiento nos permita entender enigmas como por ejemplo el de las tres generaciones de partículas fundamentales, que mencionaba anteriormente.

De hecho, desde una perspectiva constructivista ni siquiera tiene sentido decir que nos encontramos en una crisis de la física teórica, o de la física fundamental. Ahora, como antes, y como siempre, simplemente estaríamos haciendo lo mejor posible con los datos y los modelos del momento. Y no habría por qué esperar nada más.

Como estímulo para un salto adelante en la comprensión de la naturaleza ciertamente parece que la perspectiva constructivista no resulta especialmente buena. De hecho, cabe sospechar que los astrónomos aún andarían añadiendo hoy epiciclos al modelo ptolemaico, si no hubiera sido por aquellos realistas-inconformistas de los siglos XVI y XVII, que no se resignaron a ajustar los datos disponibles de un modo artesanalmente razonable, sino que buscaron con osadía el descubrimiento del modo de ser real de la naturaleza.

6. ¿Y SI NO FUERA LA FILOSOFÍA?

A lo largo de esta charla, he tratado de resumir en qué consiste la crisis actual en la física teórica (o en la física fundamental), y por qué los autores que más han destacado en el análisis de este tema indican que la filosofía tiene posiblemente que ver tanto con los problemas como con la búsqueda de las soluciones.

No obstante creo necesario concluir indicando que estas esperanzas que algunos físicos depositan en la filosofía pueden cumplirse... o no.

Por las razones que he indicado más arriba, usando como ejemplo la tabla de las generaciones de partículas fundamentales, hay motivos para sospechar que debe existir un nivel más profundo en la naturaleza, o bien unas leyes aún por descubrir, que explicarían las regularidades inexplicadas que observamos.

Ahora bien, incluso si procedemos a un análisis riguroso de todos los “supuestos ocultos” que se han venido empleando hasta ahora en la elaboración de modelos, y los vamos sustituyendo por otros, no hay garantía alguna de que, aún existiendo esos

niveles más profundos de la naturaleza, estén al alcance de nuestros métodos de observación. Y ese problema no sería filosófico, sino meramente técnico.

Con el mayor de los aceleradores de partículas del momento, el LHC, se pueden investigar fenómenos que ocurran a un nivel de unos 6.5 TeV. Entre las partículas cósmicas que han sido observadas por diversos detectores se han llegado a medir energías del orden de unos 100 TeV. Y eso quiere decir que, incluso si se consiguieran idear mecanismos para obtener toda la información posible de estas partículas superenergéticas que ocasionalmente se registran (cosa que hasta ahora no ha podido hacerse), esa energía constituiría un límite para nuestra percepción de la estructura de la materia. Cualquier partícula fundamental que posea una masa superior es indetectable. Y no tenemos modo de saber si la clave para resolver las preguntas abiertas en la física actual se encuentra por debajo o por encima de ese umbral.

Si se encontrara por encima, las preguntas quedarían para siempre abiertas... pero la culpa, en este caso, no sería de la filosofía.

LOS CONGRESOS INTERNACIONALES DE FARMACIA Y LA CREACIÓN DE LA “FEDERATION INTERNATIONALE PHARMACEUTIQUE” (FIP)

*Conferencia pronunciada por el
Prof. D. Agustín G. Asuero
dentro del ciclo “Historia y Filosofía
de la Ciencia y de la Técnica”,
el día 2 de marzo de 2020.*

RESUMEN

Esta conferencia tiene por objeto profundizar en los orígenes de la “Fédération Pharmaceutique Internationale (FIP)” para lo cual hemos hecho una inmersión en las fuentes primarias accesibles a través de la WEB, encontrando apoyo también en estudios previos preexistentes. La creación de la FIP es una consecuencia natural del desarrollo de los sucesivos congresos internacionales farmacéuticos, el primero de los cuales se celebra en Brunswick en 1865. Once congresos transcurren en total durante un período de unos 50 años. En el transcurso del sexto ya se baraja la idea, que cristaliza entre el décimo y el undécimo congreso. Se ha prestado una especial atención a la génesis del primero, al sexto, que marcó un punto de inflexión, y al décimo, donde se gestó la Federación. Estos congresos han contribuido sin duda de forma significativa al desarrollo y armonización de la profesión farmacéutica.

INTRODUCCIÓN

La presente conferencia tiene por objeto pasar revista a los congresos internacionales de Farmacia, desde el primero de ellos, celebrado en Brunswick en 1865, hasta el undécimo transcurrido en La Haya-Schevingen. La evolución natural de estos congresos tuvo como consecuencia la creación de la “Fédération Internationale Pharmaceutique” (FIP), de la que hemos anticipado información en uno de nuestros trabajos previos sobre Theophilus Redwood, héroe de la farmacia británica (Martin et al., 2019c). Un tema de esta naturaleza ha sido como es obvio objeto de tratamientos previos. Quizás el más completo de ellos, es el de Hoffmann (1901), que cubre solo los nueve primeros congresos, dada su fecha de publicación. Friedrich Hoffmann (1832-1904), farmacéutico alemán emigrado a los Estados Unidos en 1861, desarrolla allí su actividad durante

más de 30 años (Kremers et al., 1963; Memorial Tribute, 1905; Schütze, 1993, 2002) como farmacéutico, editor y químico analítico (Hoffmann y Power, 1883), ejerciendo una gran influencia en la farmacia norteamericana. Hoffmann funda en 1883 “The Pharmaceutische Rundschau”, revista que edita. The chemist and druggist (Anon, 1923), por otra parte, publica una anotación amplia sobre los congresos internacionales de Farmacia previos a la creación de la FIP. Bayer István (Fig. 1), farmacéutico húngaro y Dörney Sándor (Fig. 2), bibliotecario emérito de la Biblioteca Nacional Széchényi (Perger, n.d.), historiador médico y biógrafo (László, 2016) cubren la materia en una serie de publicaciones (István y Sándor, 2005a, 2005b, 2006a, 2006b), aunque la primera de ellas, que versa sobre el primero de los congresos, el celebrado en Brunswick, no es accesible en la WEB. Más recientemente, Duncan Thorburn Burns (Fig. 3) profesor emérito de química analítica de la “The Queen’s University” de Belfast y Hendrik Deelstra (Fig. 4), químico, profesor emérito (Química Analítica y Bromatología) del Departamento de Ciencias Farmacéuticas de la Universidad de Amberes (Dams, 1995) se hacen eco de los orígenes de la creación de la federación farmacéutica internacional en su centenario (Burns y Deelstra, 2012; Deelstra, 2013; Deelstra, 2014). Como hemos indicado previamente, la FIP es una fruta madura del acontecer de los sucesivos congresos internacionales farmacéuticos mencionados. Aún teniendo presente estas aportaciones, la conferencia que nos incumbe pretende ser original al escudriñar en la bibliografía numerosas fuentes primarias en torno a estos eventos. Burns y Deelstra (2011) han estudiado también en un trabajo previo los orígenes y el impacto de los congresos internacionales de química aplicada.

FIGURA 1
BAYER ISTVAN (1923-2016)



FIGURA 2
DÖRNEYSÁNDOR (1926-)
<http://ki2.oszk.hu/3k/2016/12/dorneyi-sandor-90-eves1/>

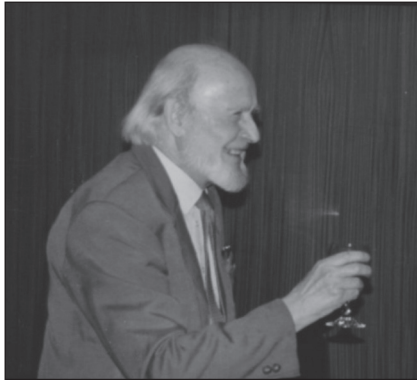


FIGURA 3
D. THORBURN BURNS
<https://www.facebook.com/QUBelfast/photos/professor-duncan-thorburn-burns-from-queens-has-received-the-prestigious-royal-s/10156481348869515/>



FIGURA 4
HENDRIK DEELSTRA
<https://etwie.be/nl/kennisbank/actoren/hendrik-deelstra>



ANTECEDENTES DEL PRIMER CONGRESO.

Es importante conocer cómo se gestó la celebración del primer congreso, ya que, como afirma el proverbio chino, el primer paso es la mitad de un largo camino. La información en esa época podía transferirse de unos países a otros con una velocidad y eficiencia sorprendente (Asuero, 2008; Sáez-Plaza et al., 2017), incluso para la era Internet, dada las relaciones entre los científicos y las numerosas revistas de publicaciones y de resúmenes existentes. En la convocatoria de la reunión de la sociedad francesa, en 1864, se indicaba (Das Comité, 1864):“Los farmacéuticos de Estrasburgo tienen el honor de anunciar la octava sesión del Congreso anual de farmacéuticos de Francia en Estrasburgo los días 17, 18 y 19 de agosto. Deseamos ver a un gran número de nuestros colegas de Alemania entre nosotros, para que a través de su presencia y de sus comunicaciones realcen esta fiesta de la farmacia...”. En dicha reunión, en las conclusiones, se formula una invitación a las sociedades de farmacia (Congrès de Pharmacie, 1865-66) y a cada uno de los colegas a tratar las cuestiones planteadas en el congreso por escrito, aportando así a la discusión el tributo de su ciencia y de sus conocimientos:

Nous invitons les Sociétés de pharmacie, et chacun de nos confrères en particulier, à traiter des questions par écrit, et a venir nous apporter dans la discussion le tribut de leur science et de leurs lumières.

Congrès de pharmacie de Strasbourg, 17, 18 et 19 août 1864

El estado de la profesión farmacéutica en esa época en Francia se ve reflejado en el trabajo de Kieffer (1866).

A la reunión de la Sociedad austríaca de Farmacia, celebrada en Viena un par de semanas después, los días 5, 6 y 7 de septiembre de 1864, acuden como invitados (Die Vierte, 1864) Schroeder, Consejero de Estado del Emperador de todas las Rusias, presidente de la Sociedad farmacéutica de San Petersburgo, y Dr. Björklund, secretario de la Sociedad. Transcurrida una semana, del 14 al 16 de septiembre acuden ambos también a Wiesbaden, a la reunión conjunta de las asociaciones farmacéuticas alemanas (Klinger, 1864; Vereins-Angelegenheiten, 1864), donde también estaba invitado Carl Remigius Fresenius. En ella interviene el Dr. Björklund hablando sobre las formas y los medios que deben adoptarse contra los remedios secretos promocionados por los medios de comunicación (ver página siguiente).

La reunión de este año de los farmacéuticos franceses -comenta- también debatió este tema y reconoció la necesidad de que era hora de hacer todo lo posible por destruir esta industria del fraude. Para ello, insiste, es necesaria una acción conjunta, por lo que propone la convocatoria de un congreso internacional de delegados de los farmacéuticos europeos. Se analizan los pros y los contras y se nombra una comisión al respecto, integrada por el Dr. Björklund (Rusia), Klinger (Austria), Dr. Geiseler (norte de Alemania) y el Dr. Rieckher (sur de Alemania) para reconsiderar la moción y redactar, el 14 de septiembre de 1864, el informe que sigue, publicado en el American Journal of Pharmacy

Von der General-Versammlung des allg. deutschen Apotheker-Vereins in Wiesbaden 14, 15 und 16 September, 1864

Dr. Björklund (Petersburg) spricht über die Mittel und Wege, welche gegen den überhand nehmenden Geheimmittelsehwindel zu ergreifen seien. Auch die diessjährige Versammlung der französischen Apotheker hätte über diesen Gegenstand debattirt und die Nothwendigkeit erkannt, dass es an der Zeit sei, mit aller Energie Hand anzulegen, um diese-Betrugs-Industrie zu vernichten. Hierzu sei indessen ein gemeinsames Handeln nöthig, und beantragt Redner desshalb die Zusammenberufung eines internationalen Congresses der europäischen Apotheker resp. deren Delegirten.

(Hoffmann, 1901), la única fuente accesible en donde se encuentra este documento, en lo que se ha podido averiguar:

“ In Anbetracht, dass das Geheimmittel Unwesen mehr und mehr um sich greift, die Regelung der medicinischen Gesetzgebung unmöglich macht, und das Gesundheitswohl des Publikums gefährdet und den Ländern bedeutende Summen Geldes entzieht, erscheint es geboten, Mittel und Wege in Erwägung zu ziehen, wie diesem Unwesen Grenzen zu setzen und es gänzlich zu beseitigen sei.

“ Die Würde des pharmaceutischen Standes und das Interesse desselben erfordern es, dass alle pharmaceutischen Vereine diese Bestrebungen kräftig unterstützen und an den bezüglichen Berathungen Theil nehmen. Um dieses zu ermöglichen haben die vereinten deutschen Apothekervereine in ihrer gemeinsamen Versammlung in Wiesbaden im September 1864 beschlossen, die sämtlichen Apotheker Europa's zur Abhaltung eines internationalen Congresses einzuladen. Als Versammlungsort wählten die beiden deutschen Vereine, in vorläufigem Einverständnisse mit den in den Sitzungen anwesenden Vertretern der Pharmaceutischen Gesellschaft in Sanct Petersburg und des Oesterreichischen Apotheker Vereins, die Stadt Dresden. Der allgemeine deutsche Apotheker Verein ist geneigt, seine Versammlung im nächsten Jahre dort ebenfalls abzuhalten.

“ Nach den uns gemachten Mittheilungen ist die Beschickung des Congresses von Seiten der französischen Apotheker mit Sicherheit zu erwarten.

“ Die Bestrebungen gebildeter englischer Apotheker, deren in der letzten Jahresversammlung des Oesterreichischen Apotheker Vereins Erwähnung gemacht wurde, lassen auch einer Betheiligung der Apotheker Englands entgegenzusehen.”

Wiesbaden, d. 14 September 1864.

Dr. Rieckher, Oberdirector des Apotheker Vereins für Süddeutschland ; *Dr. Geiseler*, für den Norddeutschen Apotheker Verein ; *Dr. G. A. Björklund*, für die Pharmaceutische Gesellschaft in Russland ; *Klinger*, in Vertretung des Oesterreichischen Apotheker Vereins.

Dice así: “En vista de que los remedios secretos se están difundiendo cada vez más, imposibilitando la regulación de la legislación médica, poniendo en peligro la salud pública y privando a los países de importantes sumas de dinero, parece aconsejable considerar formas y medios de poner límites a esta práctica y eliminarla por completo. La dignidad de la clase farmacéutica y sus intereses requieren que todas las asociaciones farmacéuticas apoyen enérgicamente estos esfuerzos y participen en las deliberaciones oportunas, invitándose a tal fin a los farmacéuticos de Europa a celebrar un congreso internacional. Las dos asociaciones alemanas, en acuerdo previo con los representantes de la Sociedad Farmacéutica de San Petersburgo y la Asociación de Farmacéuticos de Austria han elegido la ciudad de Dresde como lugar de encuentro, donde la Asociación General de Farmacéuticos Alemanes se inclina a celebrar también su próxima reunión anual. Según la información de que disponemos, se puede esperar que los farmacéuticos franceses participen en el Congreso, siendo posible sugerir también la de los colegas ingleses, de los que se hizo mención en la última reunión anual de la Asociación de Farmacéuticos de Austria.

Se parte, pues, de un núcleo importante formado por Alemania (una confederación de estados), Austria (imperio austrohúngaro que incluía a Chequia) y Rusia (otro imperio que incluía Finlandia, los Países Bálticos y Polonia). La farmacia alemana era entonces un referente y ejercía mucha influencia sobre la rusa, ya que Tobías Lowitz (Fig. 5) había desarrollado su actividad profesional entre ambos países (Figurovski, 1973; Figurovski, 1859; Leicester, 1945; Martin et al., 2019a; Pfrepper, 2001; Pfrepper, 2002 a; Pfrepper, 2002b; Pfrepper, 2003), de forma intermitente. Björklund retoma el testigo y viaja incansablemente por toda Europa promocionando el I Congreso Internacional que al final tiene como sede Brunswick (y no Dresde). Las asociaciones farmacéuticas europeas reciben la carta oficial específica de invitación, y la invitación general (Communication from Germany, 1865-1866) a participar en el Congreso Internacional, que reza:

Invitation to join the International Congress.

No field of science and art is so much in need of a uniform and consonant treatment as that of Pharmacy. Differences in this field but too often endanger life and health. All the true professors of Pharmacy will therefore shun no sacrifice, in order that the Congress may be called into life, which the above programme aims at, and the purpose of which is to abolish any baneful evils existing in the Pharmaceutical calling. We urgently invite our honoured colleagues in the east and west, north and south, to join in this undertaking, both in the interest of “suffering humanity” and in the interest of our art and science.

The General Assembly of the Apothecaries' Union in Northern Germany will be followed by the International Congress, and afterwards, from the 18th to the 24th of September, a meeting of the German Naturalists and Physicians will take place at Hanover.

The representatives of the General German Apothecaries' Union are:—

DR. BLEY, Bernberg, Anhalt.

DR. RIECKHER, Marbach a. N., Würtemberg.

DR. GEISELER, Königsberg, Neumark.

“Ningún campo de la ciencia y del arte está tan necesitado de un tratamiento uniforme como el de la farmacia, ya que diferencias en él ponen a menudo en peligro la vida y la salud. Todos los verdaderos profesores de farmacia no deben rehuir sacrificio alguno, para que pueda llevarse a cabo el congreso cuyo programa se adjunta, que tiene por propósito abolir los males perniciosos que afectan al quehacer farmacéutico. Invitamos urgentemente a nuestros distinguidos colegas del este y oeste, norte y sur, a unirse en esta empresa, tanto en el interés de la “humanidad sufriente” como en el de nuestro arte y ciencia. La asamblea general de los boticarios del norte de Alemania será seguida por un congreso internacional de Farmacia y después por una reunión de naturalistas y médicos germanos del 18 al 24 de septiembre”.

La “Pharmaceutical Society” de Gran Bretaña declina su participación sugiriendo la de la “Pharmaceutical Conference”. Bjorklund contraataca (Communication from Germany, 1865-66), el 25 de agosto de 1865, aunque con poco margen de maniobra ya, y les escribe:

“This International Pharmaceutical Congress is no special idea of one man, or of any single body of men, but is called into existence by the general relations of pharmacy at the present time. Pharmacy in all countries requires reformation, if we do not wish to be overridden by the professors of medicine, and to be degraded to the level of a mere trading community. Nearly all the European societies have already appointed their delegates. Among the larger states Great Britain alone remains blank.

“Este congreso internacional no es idea de un hombre o de un cuerpo simple de hombres (Third sitting, 1865-66), es llamado a existencia por las relaciones generales de la farmacia en el tiempo presente: La farmacia en todos los países requiere reforma, si no queremos ser sobrepasados por los profesores de medicina, y degradados al nivel de una mera comunidad comerciante. Casi todas las sociedades europeas han nombrado ya sus delegados. Gran Bretaña aún no lo ha hecho. Alemania, Austria, Francia, Rusia, Suiza, incluso Finlandia han confirmado la asistencia... (Figura 5).

Bjorkland se reúne con Mr. Deane que le invita al Congreso de la “Pharmaceutical Society” de Birmingham (Third sitting, 1865-66), al que no acude por compromisos previos: Paris, Rennes, Londres, Bruselas, Ámsterdam, Heilbronn (donde se reúne la Comisión Internacional nombrada en Wiesbaden) y Brunswick. Gran Bretaña no acudirá al primer congreso y será el único de todos los celebrados en el que este país estará ausente. A continuación, se muestra también la carta de invitación (Björklund, 1865) recibida por los EEUU, que tampoco acude (ver página siguiente).

En el caso de Francia, Bjorklund se presenta (Robinet, 1865) en el Congreso anual de la Sociedad farmacéutica, en Rennes. Robinet recuerda: “Un extraño hace acto de presencia con una carta en la mano, escrita en alemán, sin ser capaz de explicar su contenido. Por una feliz circunstancia, Giorgino, de Comar (Alsacia) -en la frontera alemana, multicultural- y el presidente del congreso hablaban alemán por lo que la carta se traduce sobre la marcha. Se trataba de una misión dada al doctor Björklund, farmacéutico de San Petersburgo, por M. el Consejero de Estado Schroeders, a efecto de re-

FIGURA 5
JOHN TOBIAS LOWITZ (1757-1804). ACADEMIA DE CIENCIAS DE SAN PETERSBURGO
SIGLOS XVIII-XIX;

<http://www.physchem.chimfak.rsu.ru/Source/History/Persones/photos/Lowitz.jpg>, Public Domain,
<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=94098272>



ST. PETERSBURG, May 16, 1865, new style; (May 4, old style.)

MUCH RESPECTED SIR :

The various Pharmaceutical Associations of Europe have resolved to hold an International Congress of Pharmacutists at Brunswick, for the purpose of effectually removing many evils existing in the field of pharmacy. (See *Pharmaceutische Zeitschrift für Russland Intelligenzblatt*, No. 1, which is enclosed.)

The great distance between America and Europe renders it perhaps impossible to see your pharmaceutical delegates at the Congress, though the appearance of deputies of American Societies could be but favorable to this international cause. Should you not be able to come or send somebody, I would request you to give me as soon as possible, at any rate previous to the meeting, some information about the condition of North American pharmacy, with particular regard to the questions of the programme. Should you not be able to correspond in the German, I would beg you to write in the English language. The letter need not be prepaid. I remain respectfully,

Your obedient servant,

DR. G. A. BJÖRKLUND,

Secretary of the Pharmaceutical Society, and Apothecary at St. Petersburg, Russia.

correr Europa en nombre del Comité encargado de organizar un congreso internacional de Farmacia que debería reunirse en Brunswick, un mes más tarde. La misión confiada a nuestro colega ruso fue acogida con entusiasmo...

El Tsar Alejandro II (1818-1892), al igual que su predecesor tenía un interés particular en la homeopatía y la farmacia (Burns y Deelstra, 2012; Pfrepper et al., 2004) y entre sus muchas reformas dictó en 1871 una ley que permitía a las mujeres su práctica. Esta quizás sea una de las claves que explica la iniciativa de su Consejero de Estado y la financiación de los costosos periplos de Björkland. Detalles biográficos de los personajes relevantes en relación con la puesta en marcha del I Congreso Internacional Farmacéutico celebrado en Braunschweig (Brunswick) en 1865 se muestran en la Tabla 1. Se dispone de los cuadros de dos de ellos, franceses, Figs. 6 y 7, a través de “Gallica”, Biblioteca Nacional de Francia.

TABLA 1
PERSONAJES RELEVANTES EN RELACIÓN CON LA PUESTA EN MARCHA DEL
I CONGRESO INTERNACIONAL FARMACÉUTICO DE BRAUNSCHWEIG (1865)

<p>Rudolph von Schroeders (1819-xxxx) St. Petersburg</p> <p>(Anon, 1923; Burns y Deelstra, 2012; Frederking, 1874, pp 252-253; Hoffmann, 1901)</p>	<p>Ministro de Estado del Zar Alejandro II (1818-1892). Director de la Sociedad Farmacéutica de St. Petersburg.</p>	<p>Farmacéutico ruso, forma parte del Consejo de Estado. Aprendiz de farmacia desde 1834-36 en Arensburg(actual Kuressaare, Estonia) isla de Ösel (Saaremaa) en el mar Báltico, donde continúa con su formación hasta 1841, luego estudia en Dorpat (Tartu, Estonia). Sirve como médico del Departamento del Ministerio de la Guerra. Administrador de las revistas centrales desde 1850-57. Funcionario por orden especial del ministro de la Guerra. La sociedad farmacéutica de San Petersburgo y la asamblea general consiguiente surgen en 1864 principalmente gracias a sus esfuerzos y sacrificios. Miembro muy activo de los Congresos de Brunswick (Braunschweig), de París y de San Petersburgo (Comisario General), I, II y IV, respectivamente. Publica varios artículos interesantes de farmacognosia en la revista rusa de farmacia. Contribuye a la creación del depósito de medicamentos para farmacéuticos en Rusia. Aunque no dispone de farmacia privada, interviene de forma activa en prodel “bien de la farmacia”. Miembro correspondiente de la Sociedad de Farmacia de París y de la Asociación General de farmacéuticos de Austria.</p>
<p>Gustav Adolf Björklund (1824-1885). St. Petersburg.</p> <p>(Chemiker-Zeitung, 1866, p. 102, p.4; Frederking, 1874, p. 253; Udlandet, 1886; Verzeichniss der Mitgliceder, 1865, p. 68)</p>	<p>Encargado por Schröeders de la promoción del I Congreso Internacional Farmacéutico. Secretario de la Sociedad Farmacéutica de St. Petersburg.</p>	<p>Farmacéutico en San Petersburgo, Consejero de Estado. Nace en Frederikshavn (Jutlandia Septentrional, Dinamarca). Lleva a cabo numerosas investigaciones y viajes científicos realizados en nombre de las autoridades militares. Viaja por todo Europa promocionando el I Congreso Internacional de Brunswick (Braunschweig). Muy activo en este Congreso, y también un ávido luchador contra el fraude secreto. El “Pharmaceutische Zeitschrift für Russland” lo tilda de creador de la farmacia internacional. Realiza también un viaje transcaucásico. Comprometido con el desarrollo de su profesión es durante muchos años uno de los directores de la “Imperial PharmaceutischeSelskab” en San Petersburgo. Realiza varios trabajos de química (Sarracenia purpurea, agua de Matico, tintura de Castor, manteca de cacao falsa ...) cuando el farmacéutico alemán Johann Georg Noel Dragendorff(1836-1898) se encuentra en San Petersburgo. Publica un “Manual Pharmaceuticum” en la revista rusa. Presenta al Premio de la Universidad de Dorpat la memoria “Investigaciones sobre la representación y propiedades del inositol y su distribución en el área de plantación”. Miembro correspondiente de la Sociedad de Farmacia de París y de la Asociación General de farmacéuticos de Austria.</p>

<p>Nicolas-Jean-Baptiste-Gaston Guibourt (1790-1867). Paris.</p> <p>(Buignet, 1871; D.H., 1867; Guibourt, 1865; Mialhe, 1866-67; Roldan Guerrero IV, 1976, p. 387; Ruiz, 1851; Université Paris-Descartes, 2010; Wisniak, 2016)</p>	<p>Presidente de la Sociedad de Farmacia de Paris.</p>	<p>Natural de Paris. Aprendiz (1806) en la farmacia de Jean-Pierre Boudet (1748-1828), el establecimiento parisino más reputado. Este reconoce rápidamente las habilidades innatas del interno y lo inicia en el arte de las operaciones de laboratorio, la manipulación y preparación de mezclas y la preparación de medicamentos. Interno de hospitales (1808) donde obtiene los primeros premios de química y farmacia en la École de Pharmacie de Paris (1810). Título de Farmacéutico (Maître en Pharmacie) (1816) tras la defensa de una tesis sobre el mercurio y sus combinaciones con el oxígeno y el azufre. Carrera profesional, investigadora y académica meteórica. Becario en el “Hôtel Dieu” (el hospital más antiguo de París), director del anexo del “Hôtel de la Pitié”, subdirector de la farmacia central y director de la revista de los hospitales civiles (1816). Publica la “Historie des Drogues Simples” (que describe el origen, naturaleza y propiedades de las drogas comunes) y la “Pharmacopée Raisonné; ou, Traité de Pharmacie Pratique et Théorique”, la 1ª edición con su mentor Étienne Ossian Henry (1798-1873); y las posteriores como único autor. La obra es traducida al español en 1851 por Ramón Ruiz Gómez (1804-1884), hijo del célebre farmacéutico y botánico Hipólito Ruiz López (1754-1816). Los logros profesionales de Guibourt van acompañados de un gran número de publicaciones científicas (preparación de acetato de etilo, propiedades del copahu y su bálsamo, análisis de una falsa jalapa con olor a rosa; descripción de las resinas de “copal”, “dammar” y “anime”; descripción del hongo del centeno, propiedades del bambú Tabashir, etc.) que le conducen a un rápido éxito paralelo en el campo académico. Miembro (1824) de la “Académie de Médecine”. Profesor (1832) de Materia Médica en la “École Supérieure de Pharmacie” de Paris, sucediendo a Pierre-Joseph Pelletier (1788-1842). En 1845 tras 27 años en su ejercicio abandona el negocio farmacéutico y dedica todos sus esfuerzos a las actividades en la “École de Pharmacie”, a la que dona su gran colección de muestras. Miembro de muchas sociedades científicas francesas y extranjeras, entre ellas la “Société de Pharmacie de Paris” (1818) siendo dos veces su presidente. Miembro residente de la “Société de Médecine” de Paris (1823) y tesorero durante 26 años (1828-1854). Miembro residente de la “Académie Royale de Médecine” de Paris (1824). Miembro honorario de la “Société des Pharmaciens de l’Allemagne septentrionale” (1830). Miembro asociado de la “Société Physico Médicale d’Erlangen” (Baviera, 1841). Miembro de la “Académie des Sciences, belles-lettres et arts” de Rouen (1851). Miembro honorario de la Sociedad Farmacéutica de Gran Bretaña (1861). Miembro extranjero de la Société de Medicina de Noruega (1856). Miembro del Colegio Farmacéutico de Madrid (1864-1865). Miembro honorario de la “Association General de Pharmaciens de Austria y de la Société Pharmaciens du Nord et du Sud” (unida) de Alemania, miembro de la Sociedad Farmacéutica de San Petersburgo (1867). Miembro de la Sociedad Química de Nápoles, etc. Caballero de la Legión de Honor (1846) ascendido a oficial (1863). Miembro del Comité de redacción francés del “Codex Medicamentaria”. Presidente provisional del Congreso Farmacéutico Francés, que se reúne el 17 de agosto. Representa junto a Stéphane Robinet (1796-1861) y Jacques-Thadée Giorgino (1818-1900) a la “Société de Pharmacie” en el primer Congreso Farmacéutico Internacional celebrado en Brunswick en 1865, llegando a presidir la apertura, pero fallece durante su transcurso (el 22 de agosto de 1867). Enterrado en el cementerio de Montmartre. Es reemplazado por Gustave Planchon en la cátedra de la École de pharmacie.</p>
---	--	---

<p>Stéphane Robinet (1796-1869). Paris.</p>	<p>Director de la Sociedad Farmacéutica de París</p>	<p>Ver Tabla X (Personajes implicados en la dirección de los Congresos)</p>
<p>Jacques-Thadée Giorgino (1818-1900). Paris.</p>	<p>Decano de los farmacéuticos de Colmar y quizás de todos los de la región de Alsacia-Lorraine</p>	<p>Natural de Colmar, región de Alsacia-Lorena, Nordeste de Francia, Departamento del Alto Rin, cerca de la frontera con Alemania, donde fallece. Aprendiz con su tío M. Anth, farmacéutico en Munster. Alentado por dos botánicos distinguidos Frédéric Kirschleger (1804-1869) y Blind, a los que acompaña en las excursiones por los bellos parajes de los Vosgos. Concluye el aprendizaje y completa su formación en el extranjero con estancias en Winterthur, Zurich y Würtzburg, pasando un año en Estrasburgo. En 1840 marcha a Paris para proseguir sus estudios de Farmacia superando de forma brillante sus exámenes y logrando el primer premio consistente en una Medalla de Oro y un ejemplar del Tratado de Química de Berzelius (10 volúmenes). Reclamado en Munster en 1843 para hacerse cargo del negocio al fallecer su tío. Ejerce en esa farmacia hasta 1851, fecha en la que toma posesión de la farmacia Wimpflen en Colmar. Miembro del Jurado Médico del Alto Rin en 1853. Miembro del Consejo de Higiene y Salubridad Pública, delegado de la Sociedad del Bajo Rin y del Círculo de Farmacéuticos del Alto Rin para los Congresos de París, Viena y San Petersburgo (aunque a este último no acude). Preside el Círculo Farmacéutico de 1862 a 1866. Practicante instruido y concienzudo ejerce como inspector de farmacia. Ocupar un lugar destacado en el Cuerpo farmacéutico como farmacéutico, químico y botánico. Estudioso de las plantas y en especial del estudio microscópico de las algas, diatomeas y champiñones, en una época en la que los estudios microscópicos no estaban avanzados. Renuncia a la oficina de farmacia en 1872 y se dedica a la administración del hospital de su ciudad natal puesto que conserva durante 20 años. Miembro de diferentes sociedades científicas. Miembro asiduo de la Sociedad Francesa para el Avance de las Ciencias. Vicepresidente de la Sociedad de Historia Natural de Colmar.</p>
<p>Ludwig Franz Bley (1801-1868). Bernburg (Sajonia-Anhalt)</p> <p>(Blei y Geiseler, 1860; Deutsche Apotheker Zeitung, n.d.; Frederking, 1874, p. 234; Geiseler, 1868; Geiseler y Bley, 1831; Wikipedia, n.d.; Wolfgang, 2014)</p>	<p>Consejero Médico</p>	<p>Farmacéutico en Bernburg (Sajonia-Anhalt). Dr. en farmacia. Consejero de la Corte y de medicina. Director en jefe de la Asociación de Farmacéuticos del Norte de Alemania a la muerte de Rudolph Brandes (1795-1842), cargo que desempeña durante veinticinco años. Boticario en Salzuflen (Lippe, Rheinland). Aprendiz con su hermano E. Wilhelm Bley entonces propietario de la farmacia verde en Bernburg (1817). Tras completar su aprendizaje trabaja con Caspar Wrede en Bonn, Mohr en Coblenza y Rudrauff en Berna. En Coblenza tiene la oportunidad de realizar importantes trabajos químicos con su director. En Berna aprende las peculiaridades de la práctica farmacéutica tal como se lleva a cabo en Suiza y amplía enormemente sus conocimientos de botánica y del estudio de las drogas. En 1825 se incorpora como estudiante al "Instituto de formación químico-farmacéutica Trommsdorfsehe" en Erfurt, para complementar su formación en todas las disciplinas farmacéuticas y en 1826 se hace cargo de la farmacia de su hermano, que fallece. Se casa en 1828 con Auguste, hija de Johann Bartholomäus Trommsdorf (1770-1837), cofundador de la primera asociación farmacéutica alemana (1809): la "Erfurter Apotheker-Kränzchen". En 1829 con la defensa de la "Disertación sobre la investigación física y química de la fuente Erka en Mägdespruns" obtiene el título de Doctor en Filosofía por la Universidad de Jena, en la que enseña el farmacéutico Johann Wolfgang Döbereiner (1780-1849), autor de las "triadas". Publica</p>

		<p>sus trabajos, numerosos, en la revista de Trommsdorf “Journal der Pharmacie für Aerzte und Apotheker heraus”, primera revista regular de este tipo, y en los “Archiv der Pharmacie”. Publica, asimismo un suplemento al “Handbuch der Pharmaceutischen Praxis”(1829) de Fischer; “Descubrimientos y avances en química y farmacia”(1834); “Taschenbuch Deutscher Mineralquellen” (libro de bolsillo de los manantiales minerales más excelentes de Alemania, Suiza y países vecinos); Valoración de la farmacia; Memorando de farmacia; e Historia de la Asociación de Farmacéuticos del Norte de Alemania, entre otros. Descubre también los “fermentos”. Se ocupa de liberar a la farmacia de las cadenas de la medicina y lucha honestamente por conseguir este propósito sin poder lograrlo. Es director durante 25 años de la Asociación de Farmacéuticos del Norte de Alemania. Edita tras la muerte de Brandes el “Archiv”(desde 1826 hasta finales de 1867) con Heinrich Wilhelm Ferdinand Wackenroder (1798-1854), Profesor de química y farmacia en la Universidad de Jena, luego solo, y más tarde con Hermann Ludwig (1819-1873), profesor de la Universidad y del Instituto Agrícola de Jena. Como editor tenía fama de ser duro. Director de la Caja de Ahorros Maestro de la Logia “Alexis zur Beständigkeit”, concejal de la Ciudad. Miembro del Parlamento Estatal. Edita la “Gaceta de Inteligencia y Gobierno Ducal Anhalt-Bernburg”. Numerosos nombramientos y honores dispensados que exceden el marco de esta contribución. Caballero del duque de Anhalt. Orden General de la Casa de Albrecht des Bären (Alberto el Oso, de Ballenstead o I de Brandeburgo (1100-1170)) y de la Casa Real griega. Orden del Redentor. Academia Leopoldina Caroliniana de Ciencias Naturales. Sociedades farmacéuticas de Lisboa, San Petersburgo, Suiza, Bruselas, etc...</p>
<p>Theodor Rieckher (1819-1888). Marbach am Main (Württemberg)</p>	<p>Presidente de la Asociación de Farmacéuticos del Sur de Alemania</p>	<p>Ver Tabla X (Personajes implicados en la dirección de los Congreso)</p>
<p>Theodor Geiseler (1799-1885). Königsberg (Neumark) (AJP 1865, p. 463; Bley y Geiseler, 1860; Frederking, 1874, pp 205-206 Klinger En representación de la Sociedad Austriaca de Farmacia</p>	<p>Presidente de la Asociación de Farmacéuticos del Norte de Alemania</p>	<p>Natural de Königsberg (Prusia Oriental) en 1796. Inicia su aprendizaje en Berlín el día de la toma de París en 1814. Continúa su formación como dispensador en Braunschweig y Frankfurt am Main durante algunos años y prosigue sus estudios en Berlín donde pasa el examen de estado en 1824. Se hace cargo de la farmacia de su padre en Berlín y se integra en la Asociación de Boticarios de Alemania del Norte llegando pronto a ser un miembro prominente y uno de sus directores. Dedicó la mayor parte de su vida activa a la Asociación de Farmacéuticos del Norte de Alemania, en la que está al frente durante casi tres décadas. Su actividad no se limita solo a la práctica y la ciencia de la farmacia. Lucha fervientemente también por la defensa de los intereses de la profesión convirtiéndose en un modelo a imitar por parte de los jóvenes. En 1833 la Universidad de Giessen le confiere el grado de doctor en filosofía, tratando el tema de su disertación sobre “La amígdala y el agua de almendra amarga”. Sus contribuciones científicas son numerosas y comprende además de trabajos sobre temas éticos y educacionales, investigaciones sobre preparaciones galénicas, valoración de artículos medicinales y químicos. Publicaciones sobre yoduro de potasio, ácido fosfórico, tartrato de potasio, acetato de amonio, resina de jalapa, cianuro de zinc, vitriolo de hierro (sulfato ferroso), sales de mercurio, ácido nítrico, yoduro ferroso, subnitrito de bismuto, subacetato de plomo, agua de cloro, análisis de numerosas drogas químicas, extractos</p>

		aparato Marsch, manantial mineral cerca de Bütow(Mecklenburg-Vorpommern) y otros. Interesado en los asuntos sobre el estado de la farmacia, recogiendo el "Archiv der Pharmacie" muchas de sus contribuciones sobre este tema. Miembro honorario de las Sociedades Farmacéuticas de Lisboa, San Petersburgo y Hamburgo. Director de la Fundación Brandes y Wackenroden para promover el conocimiento y los esfuerzos económicos entre los fabricantes de productos farmacéuticos.
C. Herzog (Braunschweig)	Comisario General I Congreso Internacional 1865	Farmacéutico de Braunschweig. Está al frente de los preparativos locales del I Congreso Internacional de farmacéuticos, en el que actúa de Comisario General, auxiliado por otros colegas de la ciudad: J.N. Grote, H.W. Mackensen, C. Tiemann, y por el Dr. Gerhar jun. de Wolfenbüttel. En opinión de Guibourt y Robinet, el Dr. Herzog es uno de los artífices del éxito del Congreso, junto con Gustav Björklund, que había viajado a través de una gran parte de Europa con objeto de promocionarlo y conseguir la afiliación de los delegados. Director de la Asociación Farmacéutica de Alemania Septentrional en Brunswick.

FIGURA 6

GUIBOURT, NICOLAS JEAN-BAPTISTE GASTON (1790-1867)

<https://www.biusante.parisdescartes.fr/histmed/image?medextcnop0003x0086>

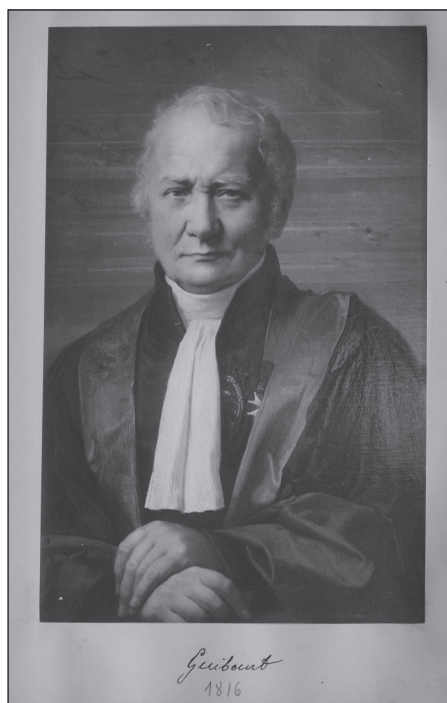
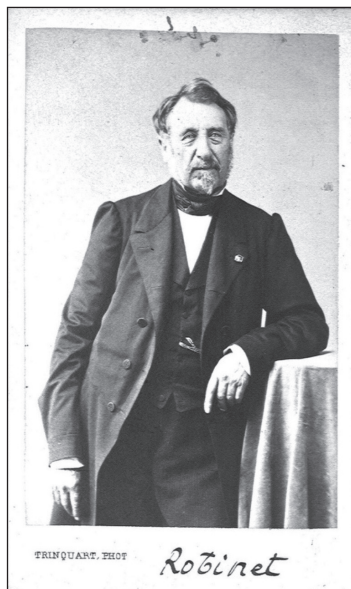


FIGURA 7
STÉPHANE ROBINET (1796-1869). BIBLIOTECA DE LA ACADEMIA NACIONAL DE MEDICINA DE FRANCIA

<https://www.biusante.parisdescartes.fr/histmed/image?anmpx37x0174a>



En la Fig. 8 se muestra un documento (receta) del Dr. Th. Rieckher, Boticario en Marbach, presidente de la Asociación de Farmacéuticos del Sur de Alemania, y en la Fig. 9 se observa el comienzo de un trabajo suyo de química analítica sobre la determinación de arsénico en fucsinas comerciales.

FIGURA 8
RIECKHER, BOTICARIO EN MARBACH

[https://ar.pinterest.com/pin/269160515201146408/?amp_client_id=CLIENT_ID\(&mweb_unauth_id=%7B%7Bdefault.session%7D%7D&from_amp_pin_page=true](https://ar.pinterest.com/pin/269160515201146408/?amp_client_id=CLIENT_ID(&mweb_unauth_id=%7B%7Bdefault.session%7D%7D&from_amp_pin_page=true)

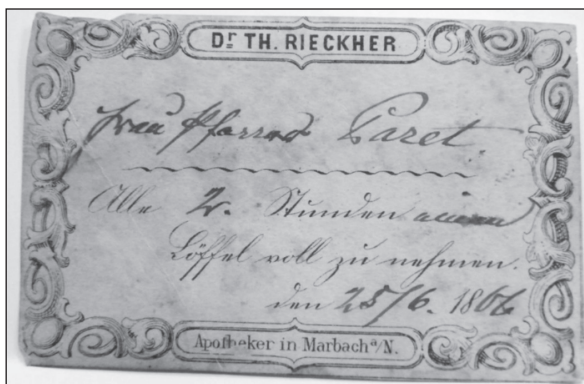


FIGURA 9
TRABAJO DE QUÍMICA ANALÍTICA DE RIECKHER SOBRE LA DETERMINACIÓN
DE ARSÉNICO EN COLORANTES COMERCIALES. BULLETIN DE LA SOCIÉTÉ
CHIMIQUE DE PARIS 15, 64 (1871)

Recherche et dosage de l'arsenic dans les fuchsines commerciales,
 par **M. RIECKHER** (1).

L'auteur a entrepris sur cet objet un travail étendu dont nous donnons les principaux résultats. Le motif de ce travail est l'emploi que l'on fait de la fuchsine pour la coloration des jus, des liqueurs, de la confiserie, etc.

De la fuchsine, de deux sources différentes, fut traitée par du zinc pur et de l'acide sulfurique, et l'hydrogène dirigé dans une solution étendue de nitrate d'argent; il y eut réduction d'argent métallique et formation d'acide arsénieux dans la solution. La présence de l'arsenic dans la fuchsine essayée était ainsi mise hors de doute. Il restait à constater si cet arsenic y était contenu à l'état d'acide arsénieux ou d'acide arsénique, et à y doser ces deux acides.

En la Fig. 10 se aprecian los títulos de Ludwig Bley (Consejero Médico y farmacéutico en Bernburg) y Theodor Geiseler, presidente de la Asociación de Farmacéuticos del Norte de Alemania, lo que denota la importancia de ambos personajes. Hay que resaltar que en la reunión conjunta de las sociedades farmacéuticas alemanas previa al I Congreso Internacional se produce la reunificación (Robinet, 1866) en una única Sociedad, en presencia de los colegas franceses, austriacos y rusos, entre otros (Figura 10).

LOS CONGRESOS Y SUS PUBLICACIONES, REVISTAS Y SOCIEDADES CIENTÍFICAS, TEMÁTICAS TRATADAS Y DELEGADOS ASISTENTES, LUGAR DE CELEBRACIÓN Y LENGUA OFICIAL

En la tabla 2 se muestran las fechas de celebración de los diversos congresos, que transcurren durante los meses de agosto o septiembre, las ciudades de acogida y los presidentes electos de los mismos. Siete de los once congresos celebrados entre 1865 y 1913, un periodo de 48 años, coinciden con Exposiciones Universales en las sedes de París, Bruselas, o Chicago o en un entorno muy próximo a Bruselas y La Haya (Amberes en el sexto congreso y Gante en el undécimo), jugándose así con este atractivo adicional para conseguir un efecto llamado significativo. En cuanto a la presidencia, en los cuatro primeros prima el eje austriaco-alemán, mientras que a partir del sexto predomina el eje Paris-Bruselas, con el broche final holandés, y su generosa oferta, en el décimo.

FIGURA 10
BLEY, L.F., GEISELER, TH., SOLLEN DIE PHARMAKOPÖEN FÜR DEUTSCHE STAATEN IN
DEUTSCHER ODER LATEINISCHER SPRACHE. HOFBUCHDRUCKERIE DER JÄNECKE:
HANNOVER, 1860

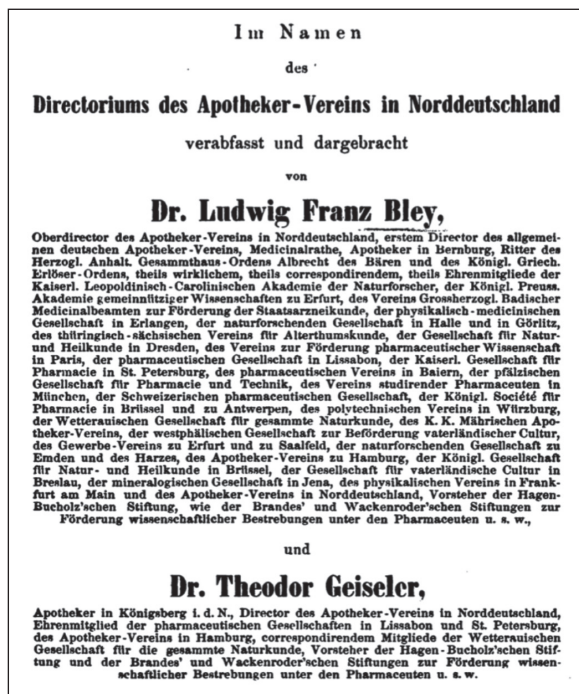


TABLA 2
CONGRESOS INTERNACIONALES DE FARMACIA PREVIOS A LA CREACIÓN DE LA F.I.P.

Nº	Fecha	Ciudad (País)	Presidente
I	16-17 Septiembre, 1865	Brunswick (Germany) (Braunschweig)	Joseph Dittrich (Prague)
II	21-25 Agosto 1867	Paris (Francia) EXPO	Dr. Rieckler (Marbach)
III	9 Septiembre 1869	Viena (Austria) (Vienna)	Mr. WnDankworth (Magdeburg)
IV	12-17 Agosto 1874	S. Petersburgo (Rusia)	Mr. Anton von Waldheim (Viena)
V	1-3 Agosto, 1881	Londres (Gran Bretaña) (London)	Teophilus Redwood (Londres)
VI	31 Agosto- 6 Sept., 1885	Bruselas (Bélgica) (Brussels, Bruxelles) EXPO Antwerp	Désiré a. Van Bastelaur (Bruselas)
VII	21-23 Agosto, 1893	Chicago, IL (U.S.A) EXPO	Joseph Price Remington (Filadelfia)
VIII	14-19 Agosto, 1897	Bruselas (Bélgica) EXPO	FernanRanwez (Lovaina)
IX	2-8 Agosto, 1900	Paris (Francia) EXPO	Arthur Petit (Paris)
X	1-6 Septiembre, 1910	Bruselas (Bélgica) EXPO	Albert Derneville (Bruselas) Oliver Kusnick
XI	17-21 Septiembre 1913	The Hague -Scheveningen (Holanda) (La Haya) EXPO Gante	L. van Itallie (Leide)

Las Memorias, Proceedings o Compte rendus de los congresos son accesibles a través de archive.org (bibliotecas norteamericanas), Google Books, “Pharmaceutical Society”, Universidades de Berna, Complutense y de Michigan, y abebooks.com, según se muestra en la Tabla 3.

TABLA 3
PUBLICACIONES MEMORIAS DE LOS CONGRESOS INTERNACIONALES DE FARMACIA (I-XI) (*)

Nº	Título de la publicación	
I	Denkschrift des Internationalen Kongresses der Deputierten der Apotheker-Vereine in Braunschweig, Druck von Ignaz Fuchs: Prag, 1866, 8 pp	Biblioteca Nacional de Austria; Google Books
II	Compte-rendu des congrès pharmaceutiques national et international réunis, en aout 1867, à l'École de pharmacie de Paris, Librairie Bouchard-Huzard, Paris	Universidades Complutense, y de Berna
III	-	-
IV	Bericht über den vierten internationalen Congresspharmaceutischer Vereine und Gesellschaften von 1-13 (6-18), August, 1874, zu St. Petersburg (Report on the Four International Congress of Pharmaceutical Societies and Associations, held at St. Petersburg, August 1 to 13 (6 to 18), 1874, 46 pp.	
V	Report of the Proceedings of the Fifth International Pharmaceutical Congress (1881), 299 pp.	Universidad de Michigan, Abebooks archive.org
VI	Sixième Congrès International Pharmaceutique, etc., tenu à Bruxelles du 31 août au 6 septembre 1885. Compte-rendu par E. Van de Vyvere, 8 vol., 1244 pp.	Universidad de los Ángeles (CA), Abebooks Google Books archive.org
VII	Report of the Proceeding of the Seventh International Pharmaceutical Congress held at Chicago August 21, 22,13, 1893, American Pharmaceutical Association, R.R. Donneley and Sons, Chicago	Universidad de Wisconsin (Madison); Wellcome Institute Library
VIII	Cinquantenaire de l'Association générale pharmaceutique de Belgique, VIII Congrès International de Pharmacie et des sciences qui s'y rattachent tenu à Bruxelles les 14-19 août, Compte rendu par M. Duyk, secrétaire-général (1897), Charles Vande Weghe, 1897, 578 pp.	Universidad de Michigan, Abebooks
IX	Compte Rendu duIXe Congrès international de pharmacie :Tenu à Paris, du 2 au 8 août 1900 (1900), Imprimerie Paul DuPont Publisher : Paris, 1900, 606 pp.	Universidad de Michigan, Abebooks archive.org Google Books
X	Compte Rendu du Xme Congrès International de Pharmacie tenu à Bruxelles du 1 et au 6 septembre, 1910; L. Vogels, 1911, 454 pp.	Abebooks Universidades Complutense y de Michigan
XI	Compte Rendu du XImeCongrès International de Pharmacie, tenu a La Haye-Scheveningue du 17 au 21 Septembre 1913. Volume : v.1 1913 (1913) ; Volume : v.2 (1913), De Avondpostdrukkerij : La Haye, 1913, 1319 pp + XXXII ; Liste provisoire des membres. Adhésions reçues jusqu'au 20 Juillet 1913. XIme Congrès international de pharmacie (1913)	Bibliotheca Academie Lugduno-Batavae, Abebooks Google Books Universidad de Michigan

(*) Las memorias los Congresos I y III no se encontraban en 1885 en la Biblioteca de la Sociedad Farmacéutica de Gran Bretaña (Knapman, 1885).

En la Tabla 4 se muestran las revistas más importantes entonces, alrededor de una veintena, que hemos consultado, y en la Tabla 5 se muestran las sociedades farmacéuticas implicadas en los cuatro primeros congresos.

TABLA 4
REVISTAS CIENTÍFICAS

American Journal of Pharmacy	Philadelphia
Apothekerzeitung	Leipzig
Archiv der, herausgeben von Bley und Ludwig	Hannover
Die Retorte	Berlin
Journal de pharmacie, publié par la société de pharmacie d'Anvers	Anvers
Journal de pharmacie et de chimie	Paris
Journal de Pharmacie d'Alsace-Lorraine	Strasbourg
Neues Jahrbuch für Pharmacie	München
Neues Repertorium für Pharmacie	Speyer
Pharmaceutical Journal and Transactions	London
PharmaceutischeCentralhalle für Deutschland	Berlin
Pharmaceutische Zeitschrift für Russland	St. Petersburg
Pharmaceutische Zeitung	Bunzlau
PharmaceutischesCorrespondenzblatt für Süddeutschland	Erlangen
Pharmaceutisches Wochenblatt aus Württemberg	Göppingen
PHARMACIE, Bulletin de la société de pharmacie de Bruxelles	Bruxelles
PHARMACIE. Schweizerische Wochenschrift für Pharmacie	Schaffhausen
Répertoire de pharmacie	Paris
Repertorium für diePharmacie	Nürnberg
Zeitschrift des allgemeinen österreichischen Apotheker-vereins	Wien
Vierteljahrsschrift für praktische Pharmacie	München

TABLA 5
ALGUNAS DE LAS SOCIEDADES FARMACÉUTICAS EXISTENTES EN EL TRASCURSO
DE LOS CONGRESOS INTERNACIONALES DE FARMACIA

País - Sociedad	País - Sociedad
<i>Alemania:</i>	<i>Grecia:</i>
- Deutschen apotheker Verein	- Société de Pharmacie d' Ath��nes
<i>Austria-Bohemia-Hungría:</i>	<i>Irlanda:</i>
- Allgemeiner ��sterreichischen Apotheker-Verein.	- Pharmaceutical Society of Ireland
- Magyar Orsz��gi Gy��gyszer��sz Egylet	
- Soci��t�� des pharmaciens tch��ques	
<i>B��lgica:</i>	<i>Italia:</i>
- Soci��t�� Royal de Pharmacie de Brussels	- Societ�� di Farmacia di Torino
- Soci��t�� de Pharmacie d'Anvers	
<i>Dinamarca:</i>	<i>Países-Bajos:</i>
- Dammarks Apotheker-forening	- Nederlandsche Maatschappij ter Bevordering der Pharmacie
- KjobenhavnsApotheker Forening	
<i>Espa��a:</i>	<i>Portugal:</i>
- Sociedad Farmac��utica Espa��ola	- Sociedade Pharmaceutica Lusitana
<i>Estados Unidos:</i>	<i>Rusia-Polonia:</i>
- American Pharmaceutical Association	- Allerh��chst Ges��ttigte St-Petersburger Pharmaceutische Gesellschaften
	- Warszawski Towarzystwo Farmaceutyczne
<i>Francia :</i>	<i>Suecia y Noruega:</i>
Soci��t�� de Pharmacie de Paris	- ApothekareSocieter i Sverige
	- FarmaceutiskeForening in Christiana
<i>Gran Bretaña:</i>	<i>Turquía:</i>
Pharmaceutical Society of Great Britain	- Société de Pharmacie de Constantinople

Los temas planteados y tratados en los diferentes congresos celebrados, junto con el número de delegados asistentes y sociedades farmacéuticas en su caso, así como su distribución por países se muestra en la Tabla 6. Llama la atención el hecho de que algunas de las cuestiones sometidas a examen y a debate son recurrentes, incluso hoy día, transcurridos más de 150 años. Los lugares de celebración de los distintos congresos se recogen en la Tabla 7, y el idioma o idiomas implicados en los mismos en la Tabla 8.

TABLA 6
TEMÁTICA PARA TRATAR EN LOS DIFERENTES CONGRESOS INTERNACIONALES DE FARMACIA Y ASISTENTES A LOS MISMOS

Nº	Temas por tratar	Asistentes
I 1865	<p>1) ¿Cómo y por qué medios se puede mantener la posición profesional del farmacéutico?;</p> <p>2) ¿Cómo se puede remediar la oferta insuficiente de asistentes en beneficio tanto de los empleadores como de los empleados?</p> <p>3) ¿Son los fondos benéficos instituidos en apoyo de los asistentes enfermos e inválidos y de sus viudas, un éxito o un fracaso?</p> <p>4) ¿Cuáles son las principales desventajas que prevalecen al mantener la posición y la prosperidad del farmacéutico?</p> <p>5) ¿El principio de libre competencia extendido a la farmacia mejoraría la condición del farmacéutico y ofrecería alguna ventaja al público?</p> <p>6) ¿Cómo se puede lograr una uniformidad de las fórmulas de galénicas farmacopólicas?</p> <p>7) ¿Es deseable la introducción y adopción universal del sistema métrico en pesos y medidas y cuál es la mejor manera de lograrlo?</p> <p>8) ¿Deben escribirse y publicarse invariablemente las farmacopeas en lengua latina?</p> <p>9) ¿Cómo se puede controlar y suprimir eficazmente la charlatanería y el mal de los remedios secretos?</p> <p>10) ¿Cómo regular la venta de venenos para prevenir abusos peligrosos para la vida y la salud, sin dificultar al mismo tiempo la aplicación útil de venenos?</p>	<p>29 delegados de 12 sociedades farmacéuticas</p> <p><i>Alemania</i>; Septentrional 3, Meridional 3, Hamburgo-Altona 3, Berlín 3, Sajonia 1; <i>Austria</i>: Praga 1, Vienna 2; <i>Francia</i> 3; <i>Rusia</i>: St. Petersbourg 1, Moscou 1, Riga 3, y Finlandia 1; y Suecia 1.</p>
II 1867	<p>1) ¿Qué carácter debe atribuirse al farmacéutico? ¿Cuáles son las funciones que debe desempeñar y qué condiciones deben satisfacerse para el cumplimiento de sus obligaciones profesionales?</p> <p>2) ¿Cuáles son las formas y los medios más convenientes de elaborar un código o formulario de medicamentos oficiales, para los cuales es importante establecer una composición uniforme?</p> <p>3) ¿Cuáles son los mejores y más prácticos medios para determinar la cantidad de principios activos, especialmente de alcaloides en los fármacos que los contienen, y en la preparación galénica de estos fármacos?</p>	<p>53 delegados de 15 países.</p> <p><i>Francia</i> 3; <i>Alemania</i> 2 (Sociedad del Norte y Sociedad del Mediodía); <i>Austria</i> 8 (Viena 4, Praga, Rottizan, Olmutz y Aussig); <i>Bélgica</i> 2; <i>Dinamarca</i> 1; <i>España</i> 4;</p> <p><i>Estados Unidos</i> 6 (Albert E. Ebert, William Procter de Filadelfia, Edward Parris, John M. Maisch, Editor of the American Journal of Pharmacy, John Faber, de Nueva York, residente en Núremberg, y Dr. Thomas Jenkins), <i>Hungría</i> 1; <i>Inglaterra</i> 8 (de Londres, entre ellos Dan. Hanbury, Peter Squire, Michel Carteighe, Prof. Redwood y Prof. Atfield) <i>Italia</i> 1; <i>Países Bajos</i> 3; <i>Prusia</i> 2; <i>Rusia</i> 7 (St. Petersbourg 5, Riga 2, Moscou 1); <i>Suecia</i> 1; <i>Suiza</i> 2.</p>

III 1869	<p>1) ¿Son deseables las escuelas de Farmacia independientes?</p> <p>2) ¿Qué ventajas se derivarán de las cámaras sindicales propuestas en el último congreso?</p> <p>3) ¿Está la predominancia médica en la regulación de los asuntos entre el Estado y la Farmacia en consonancia con el estatus científico y social actual de los Boticarios, y redundará en beneficio del Estado, la comunidad o la farmacia?</p> <p>4) ¿Qué debería hacerse para lograr la mayor uniformidad posible en la concentración y composición de los remedios utilizados en todos los países? - una continuación de la pregunta del Codex Universal.</p> <p>5) ¿Cuáles son los mejores métodos para analizar los fármacos alcaloides orgánicos?</p>	<p>34 delegados representantes de 8 países y 12 sociedades farmacéuticas.</p> <p><i>Austria:</i> Marburg 1 (perteneciente a la Sociedad Farmacéutica Austriaca), Vienna 8 (dos de ellos de la Sociedad Vienense de Asistentes), Neustadt 1, Praga 1, Pesth 1, Langenlois 1; <i>Alemania:</i> Norte 7, Sur 3; <i>Estados Unidos</i> 1 (Faber de Nueva York, residente en Nüremberg); <i>Francia</i> 3; <i>Inglaterra</i> 2 (H. Sugden Evans; Presidente de la "Pharmaceutical Society" y Teophilus Redwood); <i>Italia</i> 1; <i>Rusia</i> 3; <i>Suiza</i> 1.</p>
IV 1874	<p>1) ¿En qué medida los asistentes son personalmente responsables en el ejercicio de sus deberes profesionales?</p> <p>2) ¿Cómo puede organizarse de la forma más adecuada el Comité de Inspección (Comisión de Revisiones) de Farmacias?</p> <p>3) ¿Es necesario que se ocupe la cátedra de farmacia? por un farmacéutico?</p> <p>4) ¿No es hora de que se prepare una farmacopea internacional?</p>	<p>Representados 12 Sociedades y 70 participantes de 5 países Rusia incluido.</p> <p>Delegados: <i>Austria</i> 2 (Praga); <i>Dinamarca</i> 2; <i>Francia</i> 1; <i>Inglaterra</i> 2 (Thomas Greenish de Norwick y Francis Sutton); <i>Rusia</i> 3 (Riga, Odesa y Kasan)</p> <p>No acuden <i>Alemania, Holanda, Noruega, Suecia</i>, ni los estados del sur de Europa</p>

V 1881	<p>En cuanto a la elaboración de una Farmacopea Internacional se recomienda someter a la consideración del V Congreso las proposiciones que siguen:</p> <ol style="list-style-type: none">1) Confirmación de la resolución del Congreso de St. Petersburgo.2) Elaboración del borrador de una Farmacopea Internacional por parte de nueve farmacéuticos prácticos prominentes (representantes de las áreas de Historia Natural, especialmente Botánica, Química General, Química Analítica y Química Farmacéutica, Farmacognosia y Farmacia).3) Puesta en marcha tan pronto como sea posible de los principios dispuestos por el Congreso de St. Petersburgo. Limitación del trabajo a las drogas crudas potentes más importantes ya las preparaciones compuestas potentes de uso universal y que deben conservarse. Recomendación de dosis más pequeñas respecto a estas últimas estando de acuerdo su concentración promedio con las farmacopeas de los Estados más grandes. Observación de un método de preparación exactamente uniforme para las preparaciones galénicas.4) Impresión de este borrador y ejecución de acuerdo con las resoluciones del Congreso de San Petersburgo, relativas a la cuestión IV, ocupando en adelante la sociedad farmacéutica de Gran Bretaña el lugar de la Sociedad Farmacéutica de St. Petersburgo. <p>También son objeto de consideración la nomenclatura de la Farmacopea, la discusión a fondo sobre la cuestión de la educación farmacéutica, rasgo permanente en los congresos previos y las relaciones de los farmacéuticos con la profesión médica y el público.</p>	<p>47 delegados de 15 países (incluido Inglaterra).</p> <p>Delegados:</p> <p><i>Alemania 4; Argentina 1; Australia 2; Austria 3 (uno de Praga); Bélgica 7; Dinamarca 2; Estados Unidos 1 (Oscar Oldberg); Francia 8; Hungría 2; Inglaterra 2; Irlanda 8; Italia 3;</i></p> <p><i>Noruega 1; Rusia 2; Suecia 1</i></p> <p>Muchos visitantes de <i>Inglaterra, EE. UU.</i> (Fr. Hoffmann) y otros países.</p>	<p>16 vicepresidentes nombrados entre ellos Joseph Ditrich (Praga), H.P. Madsen (Copenhague), A.v. Waldheim (Viena) y A. Petit (París).</p>	<p>Asisten los Presidentes de las Sociedades de Alemania, Austria, Bélgica, Dinamarca, Francia, Grecia, Italia y Rusia.</p>
VI 1895	<p>Temas clásicas y cuestiones de química pura y aplicada y de biología, e.g. falsificación de alimentos y calidad y características de las aguas.</p> <p>La cuestión de la educación farmacéutica se presta a divergencias, dados los usos y condiciones imperantes en cada país. Los delegados de Bélgica formulan las siguientes proposiciones</p> <ol style="list-style-type: none">1) Que en todos los países donde aún no es el caso, debe establecerse un diploma, dando el privilegio exclusivo de ejercer la farmacia.2) Exigir que los candidatos para las calificaciones farmacéuticas pasen por el mismo curso preparatorio de estudios que los médicos y doctores en ciencias.3) Que debe definirse el mínimo de conocimientos que se deben exigir al farmacéutico.4) Los diversos títulos actualmente en uso deberían ser reemplazados por el de “doctor en farmacia”.5) Obtener como objeto subsidiario, limitación del número de farmacias proporcional a la población.	<p>El más frecuentado hasta la fecha: 300 delegados y visitantes de 23 países y 72 Sociedades. EE. UU., como en Londres no envió delegado (Mr. Fred Sterns de Detroit asiste como visitante) (Hoffmann, 2001)</p> <p>Además de la presencia de delegados de asociaciones farmacéuticas de 19 países, 728 participantes pertenecientes a 25 países de los cuales 231 eran no belgas (Burns y Deelstra, 2012)</p>		

- VII 1893 Cuatro secciones: I) *Historia y Ética Farmacéutica*, II) *Educación Farmacéutica y Legislación*; III) *Cuestiones referentes a la Farmacopea*; 4) *Sección General*.
- A grandes rasgos se consideran tres cuestiones:
- 1) La primera pregunta que se consideró fue: ¿Qué progreso se ha logrado en la preparación de una farmacopea internacional de remedios potentes?;
 - 2) La siguiente pregunta discutida se refería a la educación farmacéutica y al examen y a un plan de estudios obligatorio;
 - 3) La tercera y última pregunta de la amplia gama del programa fue la relación del farmacéutico con la higiene y sanidad pública, en particular en el tema de la adulteración de alimentos.
- El presidente del Congreso llamó la atención sobre un tema importante del programa, a saber, la influencia que ejerce sobre la práctica de la farmacia la introducción de productos químicos y otras sustancias medicinales controladas o limitadas por patentes, derechos de autor, marcas registradas u otras restricciones legales.
- 16 delegados acreditados sin contar los numerosos de Estados Unidos, rondando los doscientos.
- Australia 1; Austria 2; Bélgica 1; Canadá 6 (Ontario 3 y Quebec 3); Costa Rica 1; Gran Bretaña 3 (Michel Cartaigne, Nicolas Henry Martin y William Martindale); Holanda 1; Noruega 1.* Representantes de Bermudas, Nueva Escocia y Suecia, no acreditados).
- Faltan *Alemania, Dinamarca, España, Italia, Francia, Portugal y Rusia.*
- Quince vicepresidentes, entre ellos tres de *Gran Bretaña*: Michael Cartaigne, Nicolas H. Martin y William Martindale.
- VIII 1897 Seis secciones: I) *Legislación e intereses profesionales*; II) *Farmacia práctica, química, farmacognosia*; III) *Examen de alimentos*; IV) *Higiene*; V) *bacteriología*; VI) *Toxicología*.
- Como cuestiones principales para la deliberación se propusieron en el programa las siguientes:
- 1) ¿Es deseable, teniendo en cuenta el estado actual de los conocimientos, establecer un estándar definido de concentración en los componentes activos de los medicamentos y las preparaciones farmacéuticas elaboradas a partir de ellos?
 - 2) ¿Es necesario establecer métodos uniformes para la estimación cuantitativa de los principios activos de los medicamentos y preparados elaborados a partir de ellos?
 - 3) ¿De qué manera se puede regular mejor la práctica de la farmacia en interés y para la seguridad del público?
 - 4) ¿Cómo se puede regular mejor la fabricación y el comercio de los nuevos remedios? ¿Es compatible con el interés público proteger tales recursos mediante derechos de patente y marcas registradas?
 - 5) ¿Puede retenerse en manos del farmacéutico la fabricación y dispensación de preparados organoterapéuticos? ¿De qué manera se puede controlar y garantizar la calidad de estos productos?
 - 6) ¿Qué métodos son los mejores para las investigaciones bacteriológicas del agua potable? ¿Son los métodos actuales suficientemente fiables?
- Más de 600 participantes, 80 no belgas (Burns y Deelstra, 2012)
- Según Hoffmann (1901) el número de delegados y visitantes extranjeros fue comparativamente pequeño. Acuden delegados de *Bulgaria, EE. UU.* (Prof. Remington de Filadelfia y Mr. Meyer de Nueva Orleans), *Francia, Gran Bretaña, Holanda, Italia, México, Rusia y Suecia*
- Las sociedades farmacéuticas de *Alemania, Austria, Gran Bretaña, Rusia, Suiza*, entre otras no fueron representadas por delegados.

- IX 1900 *Farmacopea Universal*: 1) Métodos analíticos propios de determinación de alcaloides, glucósidos u otros principios definidos en las drogas simples y en las preparaciones galénicas; 2) *Farmacopea Internacional*; 3) Proposición relativa a una *Farmacopea Internacional*.
- Materia Médica o Farmacognosia*: 1) Influencia de la cultura (tradicón) sobre la actividad de las plantas medicinales; 2) ¿Cuál es la naturaleza de las secreciones y excreciones de los gusanos parásitos y cuál es su influencia en el huésped que habitan?; 3) Localización del principio activo en las plantas medicinales.
- Química Biológica – Bacteriología – Higiene – Hidrología*: 1) Unificación de los métodos de interpretación de análisis de orina; 2) Unificación de los métodos de investigación y determinación de albuminoides en orina; 3) Nitrógeno total y ureico: relaciones urinarias; 5) Unificación de los métodos de cultivo en bacteriología; 6) unificación de los métodos de análisis del jugo gástrico.
- Intereses profesionales*: 1) ¿Cuáles son, en los diversos países, los estudios preliminares exigidos a los aspirantes al grado de farmacéutico?; 2) Organización de los estudios farmacéuticos en los diversos países; 4) Limitación del número de oficinas; resultados obtenidos en los países donde existe; 5) Funcionamiento de la inspección de farmacia en los diversos países y como sería deseable que estuviera organizada; 6) Denominación de marcas de fábrica en materia de medicamentos.
- Diez gobiernos representados oficialmente por 19 delegados: *Austria* 1; *Bélgica* 2; *Dinamarca* 1; *Estados Unidos* 2; *Francia* 6; *Guatemala* 1; *México* 1, *Noruega* 2; *Rumania* 2; *Rusia* 1). Veintiséis sociedades farmacéuticas extranjeras de 12 países adheridas al Congreso: *Alemania* 2; *Austria*, *Bohemia* y *Hungría* 5; *Bélgica* 7, *España* 1 (Colegio de Farmacéuticos de la provincia de Valladolid); *Gran Bretaña* 1; *Grecia* 2; *Holanda* 1; *Italia* 2; *México* 1; *Rumania* 2; *Rusia* 1; y *Suecia* 1)
- 375 participantes de los cuales 250 eran franceses (Burns y Deelstra, 2012).
- Alemania* 5; *Austria* 2; *Bélgica* 10; *Dinamarca* 2; *España* 2; *Grecia* 1; *Holanda* 2; *Italia* 3; *México* 1; *Noruega* 3, *Suiza* 3, *Rumania* 2, *Rusia* 1, *Suecia* 1 y *Suiza* 1). *EE. UU.* e *Inglaterra* carecían de representantes (Hoffmann, 1901)
-

X 1910 *Problemas científicos y cuestiones sobre la profesión de farmacéutico:*

- 1) Estudio de los principios generales que deben regir la valoración de medicamentos y de preparados galénicos, con el objetivo de contribuir a la unificación internacional de los métodos de análisis de medicamentos.
- 2) Estudio de los medios para lograr la unificación internacional de la composición de reactivos para facilitar la lectura de farmacoformas, trabajos de química y el trabajo analítico.
- 3) Medidas a adoptar, ya sea por empresas profesionales, o por los poderes públicos, o por ambos, para regular la venta de productos antisépticos especializados, a fin de asegurar la fidelidad de las transacciones comerciales y salvaguardar los intereses del público.
- 4) Necesidad de impartirlos cursos de en escala macro, de microscopía y de química, en las facultades de farmacia, sobre determinadas secreciones naturales y patológicas y darles una significación clínica.
- 5) Utilidad que tiene el farmacéutico para realizar él mismo las preparaciones galénicas.
- 6) Regulación de la venta de especialidades. Desarrollo de la pregunta: Leyes que regulan la venta de especialidades en los distintos países. Países donde existe el descuento y donde no. Países donde existen regulaciones. Ventajas y desventajas de los variados sistemas regulatorios. Resultados obtenidos. Conclusiones.
- 7) Creación de una Asociación Internacional de Sociedades Profesionales de Farmacéuticos.
- 8) Utilidad y necesidad de una amplia representación de los farmacéuticos con ejercicio profesional en las comisiones encargadas de la elaboración de códigos (Codex) y farmacoforma internacional.

Seiscientos delegados de 20 países y representaciones de muchas sociedades farmacéuticas (Burns y Deelstra, 2012)

Veinte países enviaron delegados. Ellos son: *Chile, China, Francia, Dinamarca, España, Estados Unidos, Grecia, Guatemala, Haití, Holanda, Hungría, Italia, Imperio Otomano, Japón, Noruega, República Argentina, República de San Salvador, Rusia, Suecia, y Venezuela.* Dieciséis gobiernos extranjeros se han unido oficialmente a este congreso que cuenta con más de seiscientos miembros, representantes de muchas sociedades farmacéuticas

<p>XI 1913</p>	<p>1) Ventajas y desventajas de los diferentes sistemas de ejercicio de la Farmacia (Concesión, libre establecimiento, farmacias estatales o municipales).</p> <p>2) ¿Es conveniente limitar la venta de especialidades farmacéuticas exclusivamente a los farmacéuticos? ¿De qué manera se pueden definir estas especialidades y cómo se puede regular la venta legal?</p> <p>3. Suministro de medicamentos en distritos rurales.</p> <p>4. Acuerdo internacional sobre la nomenclatura farmacéutica.</p> <p>5. Organizaciones de químicos nacionales y locales.</p> <p>6. Comercio internacional de especialidades farmacéuticas.</p> <p>7. Educación farmacéutica en diferentes países.</p> <p>8. Los ayudantes en dispensarios. Ventajas y desventajas de los asistentes, que no poseen un diploma de químico y no pueden obtenerlo.</p> <p>9. El farmacéutico militar que trabaja en pro de la higiene y del servicio químico y técnico.</p> <p>10. ¿Qué medidas pueden adoptarse para hacer cumplir las leyes que regulan la farmacia?</p> <p>11. Formación y requisitos de los auxiliares analíticos en los laboratorios farmacéuticos y químicos.</p> <p>12. Trabajos libres sobre el tema de historia de la farmacia</p>	<p>Veinte gobiernos oficialmente presentados con un total de 39 delegados: <i>Argentina</i> 1; <i>Bélgica</i> 3; <i>Estados Unidos</i> 2 (Columbia 1); <i>Cuba</i> 1; <i>Dinamarca</i> 1; <i>España</i> 1; <i>Francia</i> 11; <i>Gran Bretaña</i> 1; <i>Guatemala</i> 1; <i>Hungría</i> 1; <i>Japón</i> 1; <i>Luxemburgo</i> 1; <i>México</i> 2; <i>Noruega</i> 1; <i>Países Bajos</i> 5; <i>Persia</i> 1 (Cónsul de Persia en La Haya); <i>Portugal</i> 1; <i>Rusia</i> 1, <i>Suecia</i> 1 y <i>Suiza</i>, 1.</p> <p>Ochenta y nueve Instituciones y Sociedades de Farmacia representadas en el Congreso</p>
--------------------	---	---

I CONGRESO: Allgemeine 1863; Anon 1866; Björklund 1865; Bley, Rieckher y Geiseler 1865; Brants et al. 1864; Congrès pharmaceutique 1866; Communication from Germany 1865-66; Dittrichn.d.; Eine 1866; International Pharmaceutical 1866; István y Sandor 2005; Meeting of Pharmaceutical 1865; Overbeck y Schlienckamp 1861; Pascal 1865; Programm 1865; Protocolle 1865; Protokolle 1866; Robinet 1866; Robinet 1867a; Robinet 1867b; Robinet 1867c; Robinet 1867 d.; Udlandet 1865; Verzeichniss 1865. *II CONGRESO:* Ferrari, 1867; Ferrari et al., 1867 International Kongress 1867; Robinet 1867 a; Robinet 1867b; Robinet 1867c; Robinet 1867d; Robinet 1867e; Sitzung-Protocoll 1867; The French 1867. *III CONGRESO:* Congress pharmaceutique 1869; Der Dritte, 1869; Dritter internationaler 1869; Enladung 1869; Faber, 1869.; The International 1869; The Third International 1869. *IV CONGRESO:* APhA 1874; Apothekerforeninges tiende 1875; Congreso Internacional 1874; Das Organisation-Comité 1875; Four International, 1874; Greenish y Sutton, 1874; Méhu 1876. *V CONGRESO:* Cinquième Congrès 1881; Ferrand 1881; Fifth International 1881-82; Report of the Proceedings, 1881; The International 1881-82. *VI CONGRESO:* El Congreso Internacional 1885; Fernández-Iparraguirre 1885; Genovois, 1885; Sixth International 1885; The International 1884-85; Van de Vyreke 1885. *VII CONGRESO:* APhA 1893; Congreso Internacional 1893; Editoriell 1893; El VII Congreso 1889; Maisch y Finlay 1892; Report of the Proceeding; The Seven International 1893. Report of the Proceedings 1893. *VIII CONGRESO:* Editorial, 1897; Eight International, 1897; *IX CONGRESO:* Compte Rendu du IXe Congrès, 1900; Crinon, Planchon, 1900; Desvignes et al., 1900. *X CONGRESO:* Bartomeu 1910; Hunt 1910; L.V. 1910; The Tenth International 1910. *XI CONGRESO:* Compte Rendu du XIe Congrès 1913; Eleven, 1913; Elfde Internat 1913; L.V. 1913; Règlement 1913; Remington, 1913; Van Schoor 1913. *REFERENCIAS GENERALES A TODOS LOS CONGRESOS:* Anon, 1923; Bosman-Jelgersma 1987; Burns y Deelstra 2011; Burns y Deelstra 2012; Congreso Internacional 1910a; Congreso Internacional 1910b; Congrès 1912; Deelstra 2000; Deelstra 2012; Deelstra 2013; Deelstra et al. 2014; Guitard y Segers 1958; Hoffmann 1901; Istvan y Sandor 2005; Istvan y Sandor 2006a; Istvan y Sandor 2006b; Noticias, 1912; Pontier 1900; Rosemond, 1932.

TABLA 7
LUGARES DE CELEBRACIÓN DE LOS CONGRESOS INTERNACIONALES
DE FARMACIA (*)

Congr. N°	Lugar de celebración
I (1865)	Technische Universität de Braunschweig?
II (1867)	L'École de Pharmacie de Paris, rue de l'arbalète.
III (1869)	Recepción en el "Weisses Ross Hotel" Great Hall de la Universidad de Viena
IV (1874)	Salones de lujo del Hotel Demuth frente al mar en Moska House 40 (Alojamiento de los congresistas)
V (1881)	Locales de la "Pharmaceutical Society" en 17 Bloomsbury Square Banquete en "Willis's Room, St. James"
VI (1885)	Palais de Académies de Bruselas, rue Ducale. Recepción en el "Hotel de Ville" (Ayuntamiento de Bruselas)
VII (1893)	Ceremonia de Apertura en el "Hall of Columbus Art Palace" de Chicago Sesiones en el Hall III del Art Palace Asambleas de los congresos científicos del congreso mundial auxiliar de la "World's Columbian Exposition" en el "Columbus Hall"
VIII (1897)	Universidad libre de Bruselas, Palais Granvelle, rue des Sols et rue de l'Impératrice
IX (1900)	L'École de Pharmacie de Paris, avenue de l'Observatoire
X (1910)	Palais des Académies en Bruselas, rue Ducale.
XI (1913)	Recepción en el "Kurhaus de Scheveningen" (Sala de Conversación) Apertura en el "Gran Salón de Kurhaus" en Scheveningen Laboratorios de Farmacia y Toxicología, de Química y de Botánica de la Universidad de Leyden

(*) Bonnemain, 1982; Compte Rendu VI, VIII, IX, X, XI (ver Tabla 2); Centenaire, 1903; Greenish y Sutton, 1874, p.285; Martin et al., 2018; Reports of the Proceedings, 1881, 1893 (ver Tabla 2); Vanderkindere, 1884; Warolin, 2003.

TABLA 8
LENGUAJE DE LOS CONGRESOS INTERNACIONALES DE FARMACIA

Congreso	Lenguaje y comentarios
I Brunswick (Alemania) 1865	Las consultas tienen que llevarse a cabo de forma general en alemán, pero las presentaciones pueden hacerse también en inglés y francés
II Paris (Francia) 1867	
III Viena (Austria) 1869	Anton von Waldheim y Joseph Dittrich como intérpretes. Realizan tras cada presentación un resumen de las intervenciones en inglés y francés
IV San Petersburgo (Rusia) 1874	Alemán
V Londres (Gran Bretaña) 1881	Las versiones inglesas (original o traducida) de los trabajos se colocan primero en las Memorias (Proceedings) del congreso, seguidas de la versión alemana (original y traducida) y la versión francesa (traducida)
VI Bruselas (Bélgica) 1885	Si bien el idioma francés es en el que se llevarán a cabo las sesiones, los ponentes tendrán la libertad de elegir el idioma para sus discursos o comunicaciones. En este caso, los miembros que no hayan hablado en francés entregarán la traducción completa o resumida de sus discursos a los secretarios de las sesiones y, en la medida de lo posible, el significado de su discurso será traducido de forma inmediata y breve por uno de los miembros de la reunión (Artículo 10 del Reglamento del congreso). El Profesor Dragendorff y el Dr. Brunnengraber toman parte en la discusión de la temática sobre educación farmacéutica, pero no se había hecho provisión de disponer de intérpretes competentes
VII Chicago (Estados Unidos) 1893	Los procedimientos del congreso serán conducidos en el idioma inglés; pero cuando los participantes en las discusiones hablen en alemán, francés, español o sueco, intérpretes traducirán estas lenguas al inglés. Discursos, papeles o comunicaciones impresas o publicadas por el congreso serán publicadas en inglés, alemán, francés y español. La publicación de los procedimientos será confiada a un Comité especial señalado por el presidente del congreso. Para cubrir los gastos que ocasione tal publicación cada miembro de los Estados Unidos, o miembro de la Asociación Farmacéutica Americana residiendo en cualquier otro país, que tome parte en el congreso, se le exigirá el pago de la cantidad de cinco pesos; a los demás miembros o visitantes no «e les exigirá ninguna tasa (Artículo 8 del Reglamento del congreso)
VIII Bruselas (Bélgica) 1897	Los trabajos y presentaciones ante el congreso se imprimen en las Memorias (Proceedings) del congreso en lengua original, y también en inglés. Las resoluciones o declaraciones adoptadas en el congreso sobre importantes temas se imprimen en inglés, francés y alemán.
IX Paris (Francia) 1900	Francés. Las Memorias (Compte-Rendu) publicadas en francés. En el Reglamento del congreso no se especifica nada acerca del lenguaje.
X Bruselas (Bélgica) 1910	
XI La Haya- Scheveningen (Países Bajos) 1913	Presentación oral en neerlandés, francés, alemán, inglés e italiano. Los “Procès-Verbaux” de las sesiones se redactan en francés. Los trabajos y las comunicaciones pueden ser redactados en cada una de las cinco lenguas del congreso (Artículo 8º del Reglamento del congreso)

**DESCRIPTIVA GENERAL DE LOS CONGRESOS Y LA CREACIÓN DE LA
“FEDERATION PHARMACEUTIQUE INTERNATIONALE (FIP)” ENTRE EL
DÉCIMO Y EL UNDÉCIMO CONGRESO**

En la Fig. 11 se muestra el retrato del sabio, farmacéutico y político checo Joseph Dittrich (1818-1898), que poseía una fabulosa colección de farmacognosia, presidente del I Congreso (Brunswick, 1865), los delegados asistentes al congreso (Fig. 12), la publicación sobre el mismo (Fig. 13) realizada en Praga, el mapa de la Europa Central de entonces (Figs. 14 y 15) y las distancias (Tabla 9) a la sede desde las ciudades que envían delegados. La más distante, Moscú, situada a unos 2000 km. Königsberg (donde nace y muere el filósofo Emmanuel Kant), en esa época alemana, se encontraba a unos 900.

FIGURA 11
JOSEPH DITTRICH (1818-1898)
https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Josef_Dittrich_1883_Vilimek.jpg



FIGURA 12

DELEGADOS ASISTENTES AL I CONGRESO INTERNACIONAL FARMACÉUTICO CELEBRADO EN BRAUNSCHWEIG (BRUNSWICK). PROTOKOLLE DES INTERNATIONALEN KONGRESSES DER DEPUTIERTEN EUROPÄISCHER APOTHEKER-VEREINE IN BRAUNSCHWEIG. VIERTELJAHRESSCHRIFT FÜR PRAKTISCHE PHARMACIE 15, 134-151 (1866).

1. **Frankreich: GIORGINO (Colmar), GUIBOURT (Paris), ROBINET (Paris).**
2. **Russland:**
 - a) **Petersburg: v. SCHRÖDERS, PFEFFER, BJÖRKLUND.**
 - b) **Moskau: KYMENTHAL.**
 - c) **Riga: DERINGER, FREDERKING, PELTZ.**
 - d) **Finnland: COLLAN und FORSBERG (Helsingfors).**
3. **Schweden: GAUFFIN (Christianstad).**
4. **Oesterreich: BRANTS (Wien), DITTRICH (Prag), SCHIFFNER (Wien).**
5. **Nord-Deutschland: BLEY (Bernburg), DANKWORT (Magdeburg), GEISELER (Königsberg i. N.).**
6. **Süd-Deutschland: BERTRAND (Schwalbach), FLEINER (Schopfheim), RIEKHER (Marbach).**
7. **Hamburg-Altona: LEONHARDT, MIELCK, OBERDÖRFFER.**
8. **Berlin: KOBLICK, KORTUM, MARGGRAFF.**
9. **Erzgebirg'scher Verein: GRÜNE (Zwickau).**

FIGURA 13

PUBLICACIÓN SOBRE EL I CONGRESO INTERNACIONAL DE FARMACIA CELEBRADO EN BRAUNSCHWEIG (BRUNSWICK)



FIGURA 14
MAPA DE EUROPA CENTRAL EN 1860.
EDWARD A. FREEMAN, ATLAS TO THE HISTORICAL GEOGRAPHY OF EUROPE, 3RD ED.,
J.B. BURY: LONGMANS, GREEN AND CO: LONDON, NEW YORK AND BOMBAY, 1903.



FIGURA 15
MAPA DE EUROPA CENTRAL EN 1871.
EDWARD A. FREEMAN, ATLAS TO THE HISTORICAL GEOGRAPHY OF EUROPE, 3RD ED.,
J.B. BURY: LONGMANS, GREEN AND CO: LONDON, NEW YORK AND BOMBAY, 1903.



TABLA 9
DISTANCIA ENTRE LAS CIUDADES DE BRUNSWICK Y LAS CIUDADES DE LOS
FARMACÉUTICOS DESPLAZADOS AL I CONGRESO INTERNACIONAL DE FARMACIA

Ciudades alemanas	Distancias (km)	Ciudades extranjeras	Distancias (km)
Berlin	198	Colmar	620
Bernburg	137	Cristianstadt	651
Hamburg	147	Moscou	2013
Königsberg	928	Paris	853
Magdeburg	88	Prague	452
Marbach	476	Riga	1444
Schopfheim	668	St. Petersbourg	1951
Schwalbach	337	Turku	1479
Zwickau	319	Vienne	789

Las votaciones y deliberaciones se llevan a cabo en alemán, permitiéndose también el uso del inglés y el francés. Se considera de forma unánime (Congrès Pharmaceutique, 1866; Hoffmann, 1901) que el mejor medio de elevar y sostener la posición científica del farmacéutico es tornarse cada vez más exigente en los requisitos que se exigen a los estudiantes antes de su ingreso a la carrera práctica; que conviene disponer de una mayor proporción de boticarios en los cargos públicos, como instituciones de política sanitaria, médica o farmacéutica, y colocarse en pie de igualdad con los Doctores en Medicina. Que es necesario para mantener la dignidad profesional descartar todos los remedios secretos (Anon, 1866; Pascal, 1865; Robinet, 1830; Robinet, 1865; Robinet, 1866; Suer, 2014) suprimir las farmacias homeopáticas y veterinarias especiales, etc. Sobre el tema recientemente discutido, del ejercicio libre e ilimitado de la farmacia, el congreso es unánime al declarar que ni el público ni la profesión desean esta singular innovación. El proyecto de trabajar en una Farmacopea universal es recibido con entusiasmo, y este deseo está muy cerca de realizarse al menos en una gran parte de Europa. Los delegados también son unánimes al pedir la adopción del sistema métrico y de la lengua latina en sus relaciones con la farmacia.

En Brunswick se decide que el segundo congreso tenga lugar en París, y que su organización corra a cargo de la Sociedad de Farmacia de París. Robinet formaba parte de la Comisión encargada; el cuadro de la Fig. 7 pertenece a la Biblioteca de la Academia Nacional de Medicina, de la que Robinet era miembro. Las reuniones se llevan a cabo en la antigua Facultad de Farmacia de París, situada en la Rue de l'Arbalette; en la Fig. 16 se aprecia el plano del edificio. El congreso tuvo muy buena acogida y fue todo un éxito. En esto ayudó mucho sin duda el gran acontecimiento que ese año se celebraba en París. En la Fig. 17 se muestra el edificio ovoide de la Exposición Universal, situado en los Campos de Marte, obra del ingeniero Jean-Baptiste Krauts y el arquitecto Leopold Hardy. William Procter, el padre de la farmacia norteamericana, fue uno de los vicepresidentes del congreso (Figs. 18 y 19). Un mapa de Francia de la época se observa en la Fig. 20.

FIGURA 16
ÉCOLE SUPÉRIEURE DE PHARMACIE DE PARIS (1839), RUE DE L'ARBALÈTE. PLAN (1868)
DE L'ÉCOLE ET DE SES DÉPENDANCES AVEC LE TRACÉ DE LA RUE PROJÉTÉE AU
TRAVERS DES JARDINS
https://www.biusante.parisdescartes.fr/histmed/image?impharma_dos316bix001

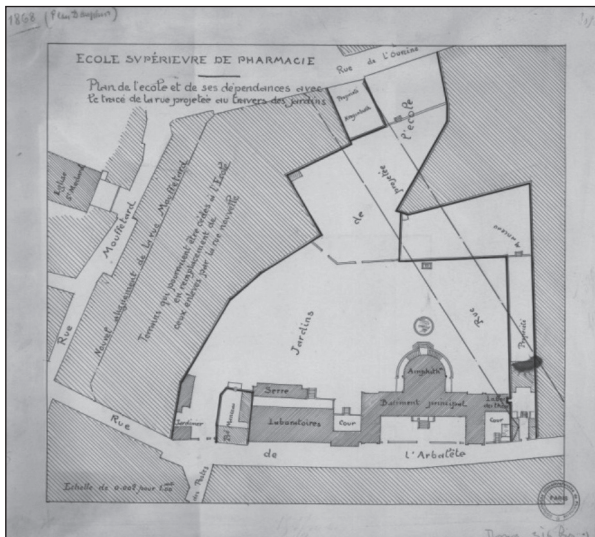


FIGURA 17
EDIFICIO OVOIDE DE LA EXPOSICIÓN UNIVERSAL DE PARÍS (1867) EN LOS CAMPOS DE
MARTE, CONSTRUIDO POR EL INGENIERO JEAN-BAPTISTE KRANTS Y
EL ARQUITECTO LEOPOLD HARDY
[https://es.wikipedia.org/wiki/Exposición_Universal_de_Par%C3%ADs_\(1867\)](https://es.wikipedia.org/wiki/Exposición_Universal_de_Par%C3%ADs_(1867))

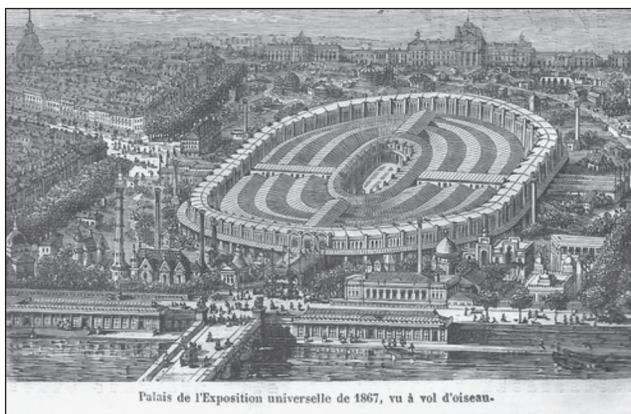


FIGURA 18
WILLIAM PROCTER JR. (1801-1884)
MEMOIR OF PROF. WM. PROCTER JR. AMERICAN JOURNAL
OF PHARMACY 46, 512-533 (1874).

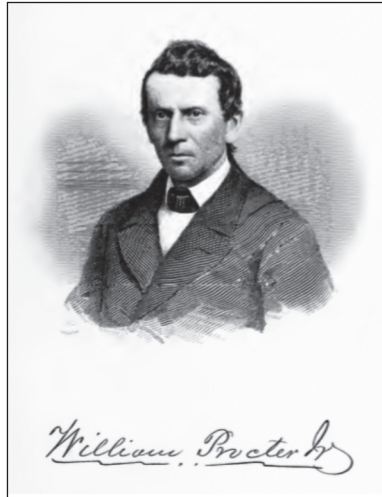


FIGURA 19
WILLIAM PROCTER, EL PADRE DE LA FARMACIA AMERICANA
<https://www.facebook.com/APhAFoundation/posts/throughout-the-month-of-may-we-celebrate-the-father-of-american-pharmacy-william/10156520088737577/>



FIGURA 20
MAPA PROVINCIAL DE FRANCIA EN 1867



La toma de contactos y saluciones del III Congreso (Viena, 1869) se lleva a cabo el 8 de septiembre en el “Weisses Ross Hotel, iniciándose las tareas el día siguiente, jueves, en el “Gran Hall” de la Universidad (Fig. 21). Algunos eventos transcurren en la Academia Austríaca de Ciencias. El número de delegados asistentes (Fig. 22), en menor que en París. En la Fig. 23 se muestra el mapa del Imperio Austrohúngaro de la época.

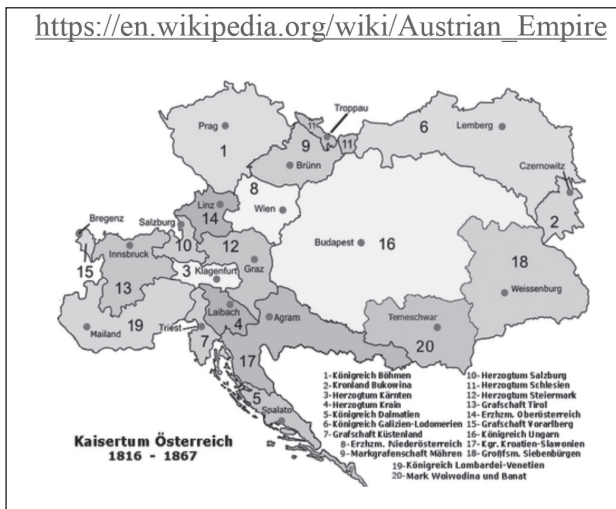
FIGURA 21
UNIVERSIDAD DE VIENA
[https://es.wikipedia.org/wiki/Archivo:Wien_-_Universitat_\(2\).JPG](https://es.wikipedia.org/wiki/Archivo:Wien_-_Universitat_(2).JPG)



FIGURA 22
DELEGADOS ASISTENTES AL III CONGRESO. PHARM. J. 11, 174-180 (1869-70)

AMÉRICA, United States: Mr. Faber, of New York.
ENGLAND: Mr. H. Sugden Evans, President, and Professor Redwood, from the Pharmaceutical Society of Great Britain.
FRANCE: Robinet, Ex-President, and Mialhe, Vice-President, from the Société de Pharmacie of Paris; Giorgino, of Colmar.
ITALY: Mosca, of Turin.
NORTH GERMANY: Fritze, of Rybnik; Dankwortt, of Magdeburg; Habenicht, of Sigmaringen; Lehmann, of Rendsburg; Mirus, of Jena; Reimann, of Posen; Schmeisser, of Meiningen.
SOUTH GERMANY: Heimpel, of Lindau; Vorwork, of Speyer; Wolfrum, of Augsburg.
AUSTRIA: (1) *From the Austrian Pharmaceutical Society,*—Bancalari, of Marburg; Beckert, of Vienna; Daubrawa, of Neustadt; Dittrich, of Prague; Friedrich, of Vienna; Jarmay, of Pesth; Kalbrunner, of Langenlois; Klinger, of Vienna; Schiffner, of Vienna; Schlosser, of Vienna; Waldheim, of Vienna. (2) *From the Association of Viennese Assistants,*—Ritzinger, of Vienna; Suchanck, of Vienna.
RUSSIA: Bjorklund, of St. Petersburg; Schuppe, of St. Petersburg; Trapp, of St. Petersburg.
SWITZERLAND: Bilinski, of Caronge, from the International Association of Pharmacologists.

FIGURA 23
IMPERIO AUSTRO-HÚNGARO 1816-1867
https://en.wikipedia.org/wiki/Austrian_Empire



El presidente del Comité organizador del IV Congreso (San Petersburgo) es Schroeder, el Secretario de Estado. Se elige presidente del congreso a un boticario en ejercicio, Waldheim, de Austria. Se muestra el edificio antiguo de la Academia de Ciencias de San Petersburgo (Fig. 24) junto al canal Gribyov, la estatua del hombre a caballo (Fig. 25) que representa a Pedro el Grande y la antigua farmacia del Dr. Alexander Pohl (Fig. 26), hombre de ciencia alemán afincado en San Petersburgo.

FIGURA 24
ACADEMIA CIENCIAS DE RUSIA
https://en.wikipedia.org/wiki/Russian_Academy_of_Sciences



FIGURA 25
EL JINETE DE BRONCE, ESCULTURA ECUESTRE DE PEDRO EL GRANDE, HECHA EN 1782 POR ÉTIENNE-AURICE FALCONET EN SAN PETERSBURGO, RUSIA BY ALEX (FLORSTEIN) FEDOROV, CC BY-SA 3.0,
<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=43434230>



FIGURA 26
ANTIGUA FARMACIA DEL DR. ALEXANDER POEHL
<http://www.saint-petersburg.com/famous-people/alexander-poehl/>



Asisten 12 diferentes sociedades (de cinco países) y 17 delegados, y se adopta por unanimidad como lengua oficial el alemán, aunque Alemania no estuvo representada. Los congresistas se acomodan en el antiguo edificio del Hotel Demuth. Una de las conclusiones: “Es deseable que la docencia de Farmacia sea impartida por farmacéuticos, y cuando las circunstancias lo permitan, deben de existir dos cátedras, una de materia médica y otra de química farmacéutica”. En Rusia, Moscú, existía la mayor farmacia del mundo (Sibille, 1892). Para una introducción a la farmacia en Rusia consultar Die Geheimmittel (1866), Greenish (1881-81), Méhu (1875), S.A. Pharmacy (1919), Sigris (2019) y los trabajos citados de Pfrepper (2001, 2002, 2003).

El V Congreso celebrado en Londres (1881) es organizado por la Pharmaceutical Society. Un modelo de organización, publicándose las memorias en tres idiomas, inglés, alemán y francés. Se observa el edificio de la Pharmaceutical Society (Fig. 27) en cuyas instalaciones se celebra el congreso, y su Museo (Figs. 28). El banquete en honor de los visitantes se celebra en los salones de Willi's Rooms, St James (Figs. 29 y 30).

FIGURA 27

EDIFICIO DE LA “PHARMACEUTICAL SOCIETY ”, 17 BOOMSBURY SQUARE (LONDON)
<https://www.pharmaceutical-journal.com/your-rps/looking-back-at-175-years-of-the-royal-pharmaceutical-society/20200958.article>



FIGURA 28

MUSEO DE LA PHARMACEUTICAL SOCIETY
<https://www.luxos.com/london/things-to-do/7742-museum-of-the-royal-pharmaceutical-society>



FIGURA 29
WILLI'S ROOMS, ST. JAMES.
<https://www.victorianlondon.org/entertainment2/willis1.gif>



FIGURA 30
WILLI'S ROOMS, ST. JAMES: THE BALL-ROOM (SALÓN DE BAILE)
<https://www.victorianlondon.org/entertainment2/willis2.gif>



En el V Congreso se discuten varios temas que aparecen como características permanentes en los programas de los primeros congresos, como la creación de una Farmacopea Universal, Educación Farmacéutica, y la relación de los farmacéuticos con la profesión médica y el público en general. Theophilus Redwood (Fig. 31) (Martin et al., 2018; Martin et al., 2019c) es presidente, y Michael Carteighe (Fig. 32) secretario. Car-

teighe anuncia en la clausura “los delegados han considerado la propuesta de América llegando a la conclusión de que es no es práctico aceptar dicha invitación, dada la necesidad de disponer de un lugar más accesible recomendando Bruselas como el próximo lugar de reunión, dentro de tres años, moción que se aprueba por unanimidad”.

FIGURA 31

THEOPHILUS REDWOOD (1806-1892). PRIMER PROFESOR DE FARMACIA DE LA “PHARMACEUTICAL SOCIETY SCHOOL”. JOSEPH SYDNEY WILLIS HODGES (1828-1900). ROYAL PHARMACEUTICAL SOCIETY MUSEUM

<https://artuk.org/discover/artworks/theophilus-redwood-18061892-first-professor-of-pharmacy-at-the-pharmaceutical-society-school-86879>

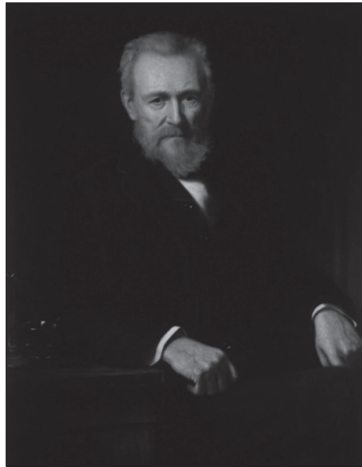
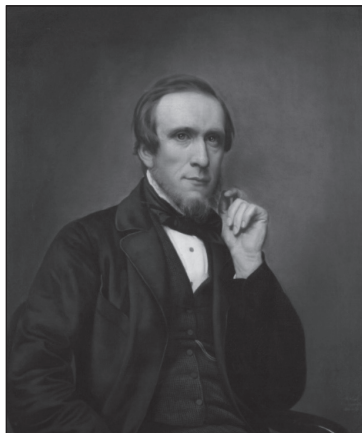


FIGURA 32

MICHAEL CARTEIGHE (1841-1910). PRESIDENTE DE LA “PHARMACEUTICAL SOCIETY” (1882-1896), “ROYAL PHARMACEUTICAL SOCIETY MUSEUM”

<https://artuk.org/discover/artworks/michael-carteighe-18411910-president-of-the-pharmaceutical-society-18821896-89245>



El VI Congreso se celebra en Bruselas (1885). Reglamento general del congreso: Objeto del congreso. Art.1. El Sexto Congreso Internacional de Farmacéuticos se celebrará en Bruselas del 31 de agosto al 6 de septiembre de 1885; Art.2. El objetivo del congreso es seguir el trabajo comenzado en 1865 Brunswick, y continuado en 1867 París, 1869 Viena, 1874 San Petersburgo y 1881 Londres. El congreso podrá debatir todas las cuestiones relacionadas con la profesión de farmacéutico, los avances de las ciencias farmacéuticas y su aplicación a la higiene. Se invita a gobiernos, academias, universidades y escuelas de farmacia, química, higiene, etc., a prestar su cooperación en este trabajo y hacerse representar en el congreso por delegados.

Contemplamos el Palacio de las Academias, en la rue Ducale (Fig. 33), sede del congreso, el Ayuntamiento (Fig. 34) donde se lleva a cabo la recepción oficial, y el retrato del presidente del congreso Désirée van Bastelaar (Fig. 35), farmacéutico y renombrado arqueólogo. Se consideran entre otros temas: aspectos teóricos y aplicados de la farmacia, higiene y salud pública, química legal y biológica, farmacopea internacional elaborada por una Comisión elegida en Londres 1881, educación farmacéutica, sustancias alimenticias, y requerimientos de calidad y mejoras producidas en el examen de la potabilidad de las aguas.

En las conclusiones, el 5 de septiembre de 1885, Van Bastelaar indica: “Hemos votado tantas resoluciones y adoptado tantas decisiones, tomemos una última y hagámosla por aclamación: la fundación de una Federación Farmacéutica Internacional”, tras lo que se produce un prolongado aplauso (Compte-Rendu, 1886, p. 753). Durante el 6º Congreso se celebran eventos, excursiones, recepciones y conciertos. En el banquete organizado con motivo del Jubileo de la Sociedad Farmacéutica de Amberes, van Bastelaar propone de nuevo la creación de una Unión Internacional de las sociedades farmacéuticas de todo el mundo. Sin duda, asiente, el sexto congreso internacional ha dado un ímpetu a esta creación: Estamos en el buen camino”. La semilla añade el conferenciante, está sembrada.

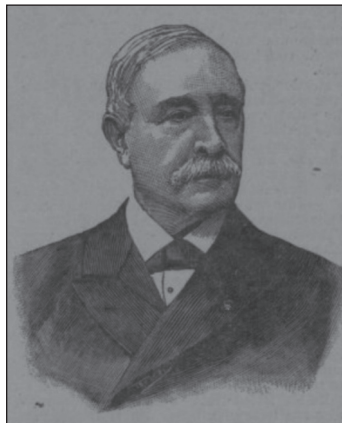
FIGURA 33
PALACIO DE LAS ACADEMIAS EN BRUSELAS;
https://fr.wikipedia.org/wiki/Palais_des_Académies



FIGURA 34
AYUNTAMIENTO DE BRUSELAS (HÔTEL DE VILLE)
https://es.wikipedia.org/wiki/Ayuntamiento_de_Bruselas



FIGURA 35
VAN BASTELAER (DÉSIRÉ-ALEXANDRE-HENRI)- DICCIONARIO BIOGRÁFICO
INTERNACIONAL DE MÉDICOS Y CIRUJANOS;
<https://www.biusante.parisdescartes.fr/histmed/image?med21244x0085>



Este sexto congreso marca un punto de inflexión y se diferencia de los previos en su organización, secciones y admisión a la membresía, así como en la naturaleza y variedad de las cuestiones propuestas e introducidas en sus deliberaciones. Además de las cuestiones inveteradas de una farmacopea internacional, la igualación de la concen-

tración de las preparaciones farmacopólicas, la educación y el examen farmacéuticos, la relación de los farmacéuticos con los médicos y los remedios secretos y especialidades, se tratan cuestiones como la farmacia veterinaria, la regulación del suministro de patentes de medicamentos, las recetas sobre alcaloides venenosos, la venta de morfina y opiáceos, la ventaja relativa de los productos químicos y galénicos de fabricación propia sobre los comprados, el peligro de las tuberías de plomo para el suministro de agua, y de pigmentos venenosos, se introduce y discute en mayor o menor grado el tema de la adulteración de alimentos, la libertad de circulación de los asistentes, etc. y se aprueban resoluciones al respecto.

Estas mociones resultan controvertidas, y contestadas por delegados alemanes, austriacos y rusos, así como también la propuesta de continuar como en Francia, o introducir dos grados de farmacéuticos, uno para aquellos que sirven al lado práctico y mercantil de la farmacia, y otro para aquellos que aspiran más alto y desean dedicarse a los objetos y propósitos científicos de la aplicación moderna de los conocimientos y prácticas farmacéuticos. Otros delegados opinan no ser bueno apuntar demasiado alto en el grado de erudición y poco en el dominio práctico, como también que el profesional y la posición social del farmacéutico no puede elevarse por meros títulos y diplomas, sino sólo por su calificación y carácter personal. Los títulos académicos no deben degradarse en aras de la vanidad y la conveniencia profesionales. Sería mejor y más adecuado no emprender experimentos extravagantes con respecto a la posición consonante y logros conseguidos del farmacéutico en ejercicio.

El VII Congreso (Chicago, 1893) es el primer congreso internacional farmacéutico que se celebra en América tras varias propuestas previas fallidas, una vez que Milán renuncia a ser sede del evento. Transcurre en agosto de 1893 en el marco de la Exposición Colombina Mundial. Su presidente fue Joseph Price Remington (Fig. 36), famoso por su obra "The Science and Practice of Pharmacy", y los principales temas tratados fueron la Farmacopea Internacional, la Educación Farmacéutica y la relación del farmacéutico con la higiene y salud pública, por ejemplo, la adulteración de los alimentos.

La exposición Colombina se organiza con motivo del 4º Centenario de la llegada a América de Cristóbal Colón (Martínez Moreno, 1988; Patch, 1893) y las reuniones se organizan en el Hall de Palacio de Bellas Artes (Fig. 37) en la Ciudad Blanca, edificio construido con una subestructura de ladrillo bajo la fachada de yeso, diseñado por Charles B. Atwood para DH Burnham & Co. Se construyen réplicas de las tres carabelas, La Pinta, La Niña y la Santamaría, la Noria y del Monasterio de La Rábida, en donde se exponen unos manuscritos de Cristóbal Colón cedidos por la Casa de Alba con motivo del evento.

El "British Medical Journal" (Fig. 38) comenta: "Se aprueba una resolución recomendando la adopción universal del sistema métrico de pesos y medidas para la dispensación de medicamentos, tal y como se ha introducido en la nueva farmacopea USA. Se discute el tema de la Educación Farmacéutica y se adopta: (1) aprobar un examen preliminar antes del aprendizaje, (2) de no menos de cuatro años; incluyendo un año de universidad o escuela de farmacia, con (3) un plan de estudios obligatorio. Sobre el tema de Saneamiento y Adulteración se resuelve: "Que, a juicio de este congreso, el

farmacéutico, es un experto natural y propio de las medidas de salud pública, no solo en la prevención de la adulteración, sino en la inspección de las aguas de consumo y residuales, etc. “The pharmacist is by virtue of his profession the common chemist of the common people” (Fig. 38).

FIGURA 36
JOSEPH PRICE REMINGTON (1847-1918).
PHILADELPHIE COLLEGE OF PHARMACY. AM J PHARM 1918; 90: 65-118



FIGURA 38
ENCABEZAMIENTO DEL REPORTAJE DEL “BRITISH CHEMICAL JOURNAL” SOBRE EL
VII CONGRESO INTERNACIONAL DE CHICAGO (1893). BRIT. MED. J. 1983, SEP. 16, 637
(THE SEVEN, 1885-86).

**THE SEVENTH INTERNATIONAL PHARMA-
CEUTICAL CONGRESS, AT CHICAGO.**

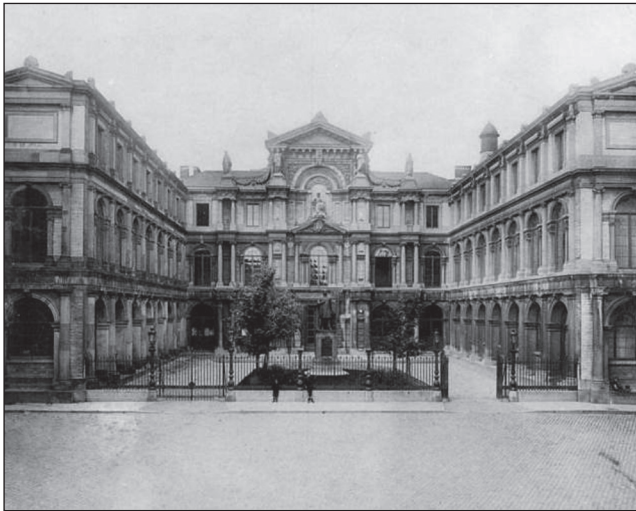
[FROM A CORRESPONDENT.]

The American Pharmaceutical Association.—Foreign Delegates to the International Congress.—Presentation of the Hanbury Medal.—Uniformity in Pharmacopœias.—Resolution in Favour of the Adoption of the Metric System.—Pharmaceutical Education,—“ The Common Chemist of the Common People.”

Al VIII Congreso Internacional Farmacéutico (Bruselas, 1897) acuden 600 farmacéuticos, delegados de ocho gobiernos, y numerosas sociedades científicas. Se organizan cuatro asambleas y seis secciones. Se muestra en la Fig. 39 el “Palacio de Granvelle », rue des Sols et rue de l’Impératrice, sede principal de la Universidad Libre de Bruselas en el período 1842-1928, y del congreso de 1897, edificio demolido en 1931 (en su lugar se encuentra la Galería). El Museo Real de África de la Exposición Universal de Bruselas celebrada ese mismo año se observa en la Fig. 40. Las reuniones se llevan a cabo en la Universidad Libre de Bruselas (Fig. 41). Se tratan los temas del contenido en principio activo de los medicamentos, aspectos de su fabricación, unificación de los métodos de análisis, modelo de estudios farmacéuticos, seguridad pública y reglamentación del ejercicio farmacéutico, dispensación de organoterápicos y bacteriología de aguas alimentarias. El presidente del congreso fue Fernan Ranwez, profesor de la Universidad de Lovaina.

FIGURA 39
EL DEMOLIDO PALACIO DE GRANVELLE EN BRUSELAS

[https://fr.wikipedia.org/wiki/Palais_Granvelle_\(Bruxelles\)#/media/Fichier:Granvellepaleis.jpg](https://fr.wikipedia.org/wiki/Palais_Granvelle_(Bruxelles)#/media/Fichier:Granvellepaleis.jpg)



El IX Congreso Internacional Farmacéutico de París (1900) coincide con la Exposición Mundial de París. Ahí se muestran la Torre Eiffel y el Trocadero (Fig. 42) (derrumbado en 1937 y sustituido por el Palacio de Chaillot), y los “Compte Rendu (Fig. 43), que abarca cuatro secciones: 1) Farmacia general y química farmacéutica, 2) materia médica o farmacognosia, 3) química biológica, bacteriología, higiene, hidrología; e 4) intereses profesionales

El congreso se celebra en la nueva Facultad de Farmacia (Fig. 44), situada en la Avenida del Observatorio (Bonnemain, 1982; Bzoura, 1998). El salón de actos de la Facultad (Fig. 45) es conocido como la “Capilla Sixtina” de la Farmacia. En el congreso

se homenajea a Pelletier y Caventou, ya fallecidos, pioneros en el aislamiento de alcaloides (quinina) y otras sustancias de origen vegetal en su botica de París (Anon, 1900; Inauguration du monument, 1900); Sáez-Plaza et al., 2017). Planchón estaba destinado a ser el presidente, pero su muerte prematura obligó a Petit a ocupar dicho cargo.

FIGURA 40
MUSEO REAL DE ÁFRICA CENTRAL. AUTOR EM DEE;
https://es.wikipedia.org/wiki/Archivo:Musée_royal_de_1%27Afrique_centrale_20.JPG



FIGURA 41
UNIVERSIDAD LIBRE DE BRUSELAS
https://es.wikipedia.org/wiki/Universidad_Libre_de_Bruselas#/media/Archivo:ULB_20050712.jpg



Al frente del Comité Organizador estuvo (Desvignes et al., 1900) al principio Henri Moissan, Premio Nobel de Química en 1906, primer francés y farmacéutico en obtener dicho galardón. Vamos a referirnos a la sección cuarta de intereses profesionales. En ella se tratan 1) cuales son en los diferentes países los estudios preliminares exigidos a los aspirantes al grado de farmacia, 2) organización de los estudios farmacéuticos en diversos países, 3) duración de las prácticas que llamamos tuteladas (stage, estancias) y su validez entre países; 4) limitación del número de farmacias; 5) funcionamiento de la inspección de farmacias; y 6) registro de medicamentos.

FIGURA 42
PERSPECTIVA DE LA TORRE EIFFEL Y EL TROCADERO (EXPOSICIÓN UNIVERSAL 1889).
https://es.wikipedia.org/wiki/Torre_Eiffel



FIGURA 43
“COMPTE RENDU” DEL IX CONGRESO INTERNACIONAL FARMACÉUTICO DE PARÍS (1900);
<https://archive.org>

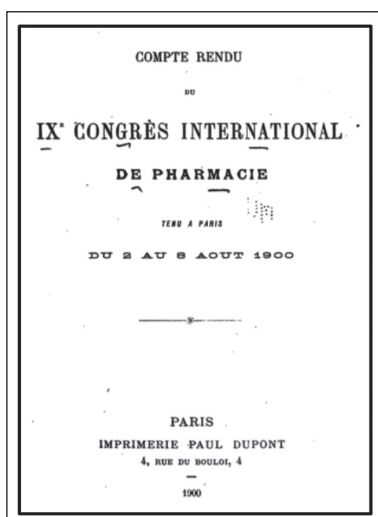


FIGURA 44
FACULTAD DE FARMACIA DE PARÍS

https://fr.wikipedia.org/wiki/Fichier:Faculté_de_pharmacie_de_Paris.JPG



FIGURA 45

SALÓN DE GRADOS DE LA FACULTAD DE FARMACIA DE PARÍS

<https://pharmacie.u-paris.fr/wp-content/uploads/sites/2/2019/12/Nos-espaces.pdf>



El X Congreso Internacional Farmacéutico transcurre en Bruselas (1910). Se muestra en la Fig. 46 la estatua ecuestre de Godofredo de Bouillón, el “Defensor del Santo Sepulcro”, en la Plaza Real, en el momento en que parte para la primera cruzada, año 1096, agitando el estandarte y gritando “Dios quiere”, y en la Fig. 47 el Diploma de la Exposición Universal en la fecha de celebración. Acuden más de 600 delegados, la mitad belgas, celebrándose la sesión de apertura en el Palacio de las Academias. Veinte gobiernos envían representantes. En la Fig. 48 se observa una ventana de frontón enmarcada por pilastras jónicas -situada en el lado NE del Palacio de las Academias- y coronada por un bajo relieve que representa las Ciencias. En la Fig. 49, Caín maldito (1850), una de las esculturas que ornamentan el Jardín del Palacio.

FIGURA 46
ESTATUA ECUESTRE DE GODOFREDO DE BOUILLON EN LA PLAZA REAL DE BRUSELAS
<https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Godefroy.jpg>



FIGURA 47
DIPLOMA DE PREMIO DE LA EXPOSICIÓN UNIVERSAL DE BRUSELAS DE 1910
<https://www.ebay.fr/itm/Henri-Teterger-Grand-prix-de-l-Exposition-Universelle-de-Bruxelles-1910-/284013465439>



FIGURA 48
VENTANA DE FRONTÓN DEL PALACIO DE LAS ACADEMIAS DE BRUSELAS
https://fr.wikipedia.org/wiki/Palais_des_Académies#/media/Fichier:Bruxelles_Palais_des_Académies_1206.jpg



FIGURA 49
CAÍN MALDITO, UNA DE LAS ESTATUAS QUE ORNAMENTAN EL JARDÍN DEL PALACIO
https://fr.wikipedia.org/wiki/Palais_des_Académies#/media/Fichier:Bruxelles_Palais_des_Académies_1002.jpg



En las Figs. 50 y 51, Robert Shoepf, farmacéutico retirado de Maastricht (Hollman, 1966) y Justus Hofman, presidente de la sociedad holandesa farmacéutica (Hofman, 1914), respectivamente, ponentes ambos ante el décimo congreso internacional por parte de la Sociedad Holandesa, que llevan a cabo el informe sobre la creación de la Asociación Internacional de Sociedades Profesionales de Farmacia (*L'union pharmaceutique* 1910, pp 483-484). En su punto primero se recoge “Fundar una Federación Internacional Farmacéutica, que tendrá como finalidad proteger la farmacia por la vía internacional, como profesión y como ciencia exacta aplicada”. En el segundo punto se da paso a un Comité para someter los estatutos a elaboración a la consideración de la asamblea y se agradece el ofrecimiento de los Países Bajos (Holanda) de aceptar ser la sede. En el tercero se indica que estará constituida por “las Uniones, Federaciones o Asociaciones farmacéuticas nacionales legalmente constituidas, representativas en el sentido más amplio del Cuerpo farmacéutico del país o de la nación consiguiente”. El cuarto punto es una llamada a aunar esfuerzos y luego se habla sobre la Constitución de la Comisión Provisional y fecha límite de presentación de los Estatutos 5 septiembre de 1911 (Guitar y Leger, 1958; Host-Madsen, 1950, Istvan y Sandor, 2005; Noticias, 1912; Règlement, 1913; Rules and Regulations, 1912; Zalai, 1987; Zoltan, 2012). El nacimiento de la FIP transcurre pues entre el décimo y el undécimo congreso.

El XI Congreso tiene por sede La Haya-Scheveningen (1913). La recepción del congreso se lleva a cabo en la Sala de Conversación del “Kurhaus de Scheveningen” (Fig. 52), la apertura en el “Gran Salón” de dicho Hotel, y las presentaciones en los laboratorios de Farmacia y Toxicología, Química y Botánica de la Universidad de Leiden (Fig. 53). Scheveningen es un barrio costero de La Haya, inmortalizado en un cuadro del genial Van Gogh: “Vista del mar”. Se abordan cuestiones generales, farmacia galé-

nica, química, botánica y materia médica, bromatología. En el Discursó de Apertura, el Profesor Van Itallie (Figs. 54 y 55), que será presidente de la FIP entre 1912 y 1930 comenta: “La Federación es hija de los congresos farmacéuticos”. Su fundación es una prueba patente del avance de la ciencia, y al mismo tiempo de la parte profesional de la Farmacia...”.

FIGURA 50
JAN JUSTUS HOFMAN (1866-1942).
(MICROCHIM. ACTA 178 (2012) 29-35)



FIGURA 51
ROBERT JACOB LEONARD SHOEPPE (1842-1922)
(MICROCHIM. ACTA 178 (2012) 29-35)



FIGURA 52
GRAN HOTEL AMRÂTH KURHAUS-DEN HAAG SCHEVENINGEN
https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/2/2b/Den_haag_Kurhaus_Hotel.JPG



FIGURA 53
UNIVERSIDAD DE LEYDEN
https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/6/62/Leiden_-_Rapenburg_73.jpg



FIGURA 54
LEOPOLD VAN ITALLIE (1866-1952)
https://nl.wikipedia.org/wiki/Bestand:Leopold_van_Itallie.jpg



FIGURA 55
COMPTE RENDU DU XIÈME CONGRÈS INTERNATIONAL DE PHARMACIE. TOME II, P.
1193. SÉANCE SOLENNE D'OUVERTURE, MERCREDI, 17 SEPTEMBRE 1913. PROF. VAN
ITALLIE

Mesdames, Messieurs, la Fédération est l'enfant des congrès pharmaceutiques. Par sa fondation ils ont donné preuve qu'ils se font un point d'honneur de faire avancer la science en même temps que la partie professionnelle de la pharmacie. Sur ces deux terrains les questions se multiplient. En parcourant la liste des rapports qui seront soumis à votre examen, vous trouverez la signification des ferments en rapport à la matière médicale et à la synthèse des glucosides à côté des dénominations pharmaceutiques considérées comme marque de fabrique ou de commerce; et ainsi se trouvent à l'ordre du jour de nos séances des questions suggérées par l'avancement de la science aussi bien que par les conditions économiques nouvelles.

El Gobierno Holandés ofreció “LaHaya” como cuartel general de la nueva asociación, propuesta analizada e informada favorablemente por un Comité nombrado “ad hoc” y contribuyó con una ayuda para hacer frente a los gastos iniciales, y todavía destina una pequeña partida anual a la asociación. El lenguaje diplomático de la época era el francés, por lo que se adoptó el título original de “Fédération Internationale Pharmaceutique”. De aquí el acrónimo FIP, que permanece como el nombre oficial de la organización, aunque su traducción al inglés aparece también en los estatutos. El Comité provisional nombrado al efecto, reunido en junio de 1911 en La Haya, redacta los estatutos, y el 25 de septiembre de 1912, la FIP se constituye formalmente ante la ley holandesa, con los dos comités de “Pharmaceutical Practice” y de “Pharmaceutical Sciences”. La consolidación de las diez primeros congresos internacionales farmacéuticos se materializó por tanto en la creación de la FIP. Estos congresos han contribuido sin duda de forma significativa al desarrollo y armonización de la profesión farmacéutica (FIP, n.d.; FIP, 2000; Bosman-Jelgersma, 1987; Deelstra, 2013). Elegir Holanda como sede fue un acierto ya que este país se declaró neutral y no participó en la Primera Gran Guerra Mundial, que duró desde 1914 a 1919, por lo que sus primeras acciones pudieron desenvolverse con facilidad.

En la Fig. 56 se muestra al conferenciante con el Dr. N.O. Strandvist, sueco, presidente de la FIP, en el Congreso Panamericano de Farmacia y Centroamericano y El Caribe de Ciencias Farmacéuticas, El Salvador, 1995. Tras el discurso de entrada como correspondiente en la Academia Iberoamericana de Farmacia de Héctor Zayas Bazán y Perdomo de los EE.UU. Discurso, al que el conferenciante tuvo el honor de dar respuesta, en el transcurso del solemne acto académico presidido por el Ilmo. Sr. D. Diego Guevara, vicepresidente entonces de la Academia Iberoamericana, que aparece al fondo en la fotografía, a quien tuvo el privilegio de acompañar. Los discursos de entrada y de respuesta se publicaron en “Ars Pharmaceutica” (Zayas de Bazán y Asuero, 1998) más tarde, en 1998, gracias a las gestiones realizadas por la Ilma. Sra. Doña María José

Fauss, de España, académica. En la Fig. 57 aparece un primer plano de la Dra. Carmen Peña, Académica de la Iberoamericana, de España, Presidenta Honoraria de la FIP, y presidenta previa del Consejo General de Colegios Oficiales de Farmacéuticos de España (CGCOF), de la que tendremos ocasión de hablar en la historia de la FIP desde su creación hasta nuestros días, que será objeto de una próxima contribución.

FIGURA 56

DR. N.O. STRANDVIST, PRESIDENTE DE LA FIP (1990-1994) Y AGUSTÍN GARCÍA ASUERO, CONGRESO CENTROAMERICANO Y EL CARIBE DE CIENCIAS FARMACÉUTICAS, SAN SALVADOR (EL SALVADOR), NOVIEMBRE 1995



FIGURA 57

LA DRA. CARMEN PEÑA, DE LA ACADEMIA IBEROAMERICANA DE FARMACIA, PRESIDENTA HONORARIA DE LA FIP
<https://www.redaccionmedica.com/secciones/farmacia/carmen-pena-nombrada-presidenta-honoraria-de-la-fip-6438>



Resta rendir homenaje a los principales protagonistas de esta historia, los personajes que en forma de presidentes, vicepresidentes y secretarios tuvieron la responsabilidad de afrontar el reto de que los respectivos congresos llegaran a buen término. A tal fin se ha elaborado en forma tabular (Tabla 10) una información detallada que recoge el núme-

ro de congreso, personaje en cuestión, su vinculación al congreso y detalles biográficos extraídos de las fuentes que se indican en cada caso. Algunos de estos personajes se han visto implicados en la participación de más de un congreso, como se recoge en la Tabla 11. Joseph Dittrich (Austria-Chequia), Louis Mosca (Italia), Anton von Waldheim (Austria), Theophillus Redwood y Michael Cartheighe (Reino Unido), Fernan Ranwez (Bélgica) y Arthur Petit (Francia), se distinguen en este sentido. Hay constancia de que Merck de Darmstadt (Mercka, n.d; Merckb, n.d) acudió al primer congreso (Robinet, 1866), y de que Angelo Pavesi y Stanislaw Cannizzaro, que habían participado (Asuero, 2015; Asuero, 2019) en el Congreso químico de Karlsruhe de 1860, donde habían jugado un papel fundamental para contribuir a deshacer el nudo gordiano en torno a los conceptos de átomo y molécula (que abrió las puertas a Lothar Meyer y Mendeleev para la construcción de la Tabla Periódica), participaron en el 2º y 7º, y 6º y 7º, respectivamente.

TABLA 10
PERSONAJES IMPLICADOS EN LA DIRECCIÓN DE LOS CONGRESOS
INTERNACIONALES DE FARMACIA

Congreso	Personalidad	Comentario sobre sus actividades profesionales
I Brunswick 1865 16-17 Sept	Joseph Dittrich (1818-1898). Presidente (Prague, Austria) (Dittrich, n.d.; Frederking, 1874; Rumpf-Lehman, 1982; Schneider, 1966; Universi- tatInnbruck, n.d.)	Nace en Malá Strana- Praga. Estudia Farmacia en Praga y Viena. Dr. en farmacia en 1841. Su padre, Vincent, operaba la farmacia U Zlatého Iva (El León de Oro) de Praga en la antigua calle Ostruhová (actual Nerudova), de la que se hace cargo en 1846. El nº 32 de la calle albergó la Farmacia. El nombre del propietario sobre el dintel y la denominación “Lekarna” (Farmacia) encima de la ventana cerrada con persianas recuerda la antigua farmacia. En el congreso internacional de Historia de la Farmacia que tuvo lugar en Praga en 1971, la oficina con muebles y vasijas de los siglos XVIII y XIX y parte de la antigua sala de materiales estaban todavía accesibles. En la entrada de la farmacia había vitrinas de vidrio, tarros de varios fabricantes de Bohemia y Moravia, por ejemplo, de Loket, Elbogen y Horní, Slavkov, y Schlaggenwald. El Museo se cerró debido al deterioro y el equipo se trasladó al almacén del Museo Nacional de Praga. Dittrich es miembro en la segunda mitad del siglo XIX del Parlamento checo (partido nacional Vieja Bohemia). Se elogia su compromiso con las asociaciones cívicas de Praga, especialmente las del Barrio Pequeño. Primer vicepresidente en 1860 y presidente en 1864 de la “Allgemeiner österreichischer Apotheker-Verein” (Asociación Austriaca de Farmacia General). Miembro del Consejo de Ancianos de 1860 a 1893, también miembro del Consejo de la Ciudad de Praga. Gracias a su iniciativa se consigue una planta de gas y un tercer puente ferroviario sobre el Río Moldava. Miembro de las asociaciones farmacéuticas profesionales en San Petersburgo, Moscú y Varsovia. Cruz de Caballero de la Orden de Francisco José en 1866. Cofundador de la Asociación Farmacéutica checa en 1871. Recibe el título honorífico de Néstor de la Farmacia de la República Checa. Muere en Praga y está enterrado en una tumba en los cementerios de Olšany. En 1893, Josef Nevinny (1853-1923) se convierte en profesor de farmacología y farmacognosia (campo este último al

Congreso	Personalidad	Comentario sobre sus actividades profesionales
		<p>que se dedica en la Universidad de Innsbruck y adquiere la renombra "colección de farmacognosiadeDittrich" („Pharmakognostische Sammlung des Apothekers Josef Dittrich“) con cerca de 30.000 objetos, conocida con el nombre de "Dittrichiana".</p>
	<p>Stephane Robinet (1796-1869) Vicepresidente (Paris). (Chevalier, Robinet, 1830; Dorveaus, 1932; Journal de ChimieMedicale, 1830; Lefort, 1870; Mialhe, 1869; Obituary, 1870; Robinet, 1966; Ruiz Somavilla, 2000)</p>	<p>Natural de Paris realiza gran partefi de sus estudios clásicos en el colegio imperial de Worms (Renania-Palatinado, Alemania) retornando pronto a la Capital, y tras un año en el colegio de San Luis, en 1812 por recomendación de la viuda de Antoine-François de Fourcroy(1755-1809), entra en el laboratorio Luis Nicolas Vauquelin (1763-1829), actuando en 1814 actúa como preparador del curso que este imparte en el "Jardin de Plantes". En 1816 entra como alumno en la farmacia de la viuda de Pierre Joseph Pelletier (1788-1842), famoso por el aislamiento de los alcaloides. Recibe el diploma de farmacéutico en 1822. Tras su examen abre una oficina de farmacia en Paris que con el tiempo cierra para dedicarse enteramente a la ciencia. Siendo Vauquelin presidente (1825) de la Sección de Farmacia de la Academia de Medicina de Paris, creada en 1820, lo promueve a residente adjunto llegando a ser titular (1835), y presidente (1861) de dicha sección. Es uno de los doce fundadores (1824) de la "Société de Chimie Médicale" que pone en circulación el "Journal de Chimie Médicale", siendo secretario de su comité de redacción hasta 1830. Al fallecer Vauquelin, Chevalier y Robinet son encargados de la "Notice historique" que se lee en una de las sesiones de la Sociedad. Secretario (1826) y vicepresidente (1830) de la Sociedad de Farmacia de Paris. Redactor de numerosos artículos del "Dictionnaire universelle"y autor de un ensayo sobre la afinidad orgánica. Es especialmente conocido por su celo en analizar las aguas naturales de Francia y por sus excelentes trabajos hidrográficos. Entre marzo y septiembre de 1863 determina la dureza total del agua en diferentes lugares de París obteniendo como media 3.27 grados franceses (un grado francés corresponde a 32,7 mg L⁻¹ de CaCO₃) y un contenido de CaSO₄ superior a 20 mg L⁻¹. Caballero (1831) y Oficial (1861) de la Legión de Honor. Se esfuerza con ahínco por promocionar la farmacia francesa (que aspiraba a organizar según el modelo alemán) de la que dan testimonio los congresos de Braunschweig (1865), París (1867) y Viena (1869). Tras acudir a Viena en septiembre como delegado del III Congreso contrae un resfriado que le causa la muerte.</p>
	<p>Fr. Klinger. Secretario (Viena)</p>	<p>Editor de "Zeitschrift des Allgemeinen Oesterreich. Apotheker-Vereins"</p>
	<p>Christian Carl Arthur Casselmann (1828-1872). Secretario (St. Petersburg) (Bley, 1855, p. 123; Frederking, 1874, p. 258; Himmelmann, 1868; Obituary, 1873)</p>	<p>Nace enFeldberg (Kurhessen) y fallece en San Petersburgo. Asiste la escuela secundaria (1843)en Cassel (Hesse). Aprendiz del farmacéutico August Haubold(die Flügge 'sche) en Allendorf (Hesse), y de J.G. Gläsnerpropietario de la farmacia del Unicornio en Cassel. Este último había recopilado en 4000 rótulos (104 páginas) los nombres de los remedios de todas las farmacoepas alemanas conocidas, incluida la del médico Johann Gottfried Rademacher (1772-1850). Acude (1851) a la Universidad de Göttingen, donde</p>

Congreso	Personalidad	Comentario sobre sus actividades profesionales
		enseñanlos botánicos Friedrich Bartling (1798-1875), Gustav Limpricht (1834-1902), y Heinrich Wiggers (1803-1880), el químico Friedrich Wöhler (1800-1882), y el físico Wilhelm Weber (1804-1891), y de allí marcha a Marburg. Aprueba el examen estatal de farmacéutico en Cassel (1853). Asistente del farmacéutico Zenger en Marburg, donde se doctora. Administra tras la muerte de Krügerla farmacia de “Los Leones” en Homberg (Renania-Palatinado). Editor (1860) del “Pharmaceutische Journal der Apotheker” siendo sustituido por C. Himmelmann, farmacéutico de Posneck (Turingia), cuando se muda a Rusia. Editor (1865) de la revista rusa de farmacia: “Pharmaceutische Zeitschrift für Russland”. Secretario de la Sociedad de Farmacia de San Petersburgo, a la que representa en los Congresos de Braunschweig (1865) y París (1867).
	F. Vorwerk. Secretario (Speyer) (Frederking, 1874)	Dr. en Farmacia, editor del informe de “Neues Jahrbuch für Pharmacie”, Volumen 19-30 (1863-68).
II Paris	Theodor Rieckler (1819-1888). Presidente (Marbach) (Frederking, 1874; Fruton, 1988; Obituary, 1888; Rieckher, 1869; Rieckher, 1871; Rieckher, 1886; Schneider, 1966)	Natural de Stuttgart donde se educa y estudia ciencias naturales. Dr. Phil. (1844) en Giessen con Justus von Liebig (1803-1873). Forma parte del círculo del sabio. Propietario de una farmacia en Marbach años 1845-1886, distrito de Luisburgo. Farmacéutico en ejercicio muy activo, se esfuerza por mantener la reputación científica de la farmacia. La mayoría de sus investigaciones se publican en la Neues Jahrbuch für Pharmacie”. Realiza estudios sobre los licores Soolmother, tablas sobre las propiedades físicas de los compuestos orgánicos, ácido fumárico, valérico, angélico y fusélico (de patata), rectificación de ácido sulfúrico, preparación de ácido fosfórico, purificación de potasa, diferenciación de As y Sb con el aparato de Marsh, éter de vinagre, sales de bismuto y plata, ferrocianuro potásico, óxido de hierro, yoduro mercurioso, sal de Schlippe, alcohol anhidro, alcohol amílico, cloral, estricnina, etc., además de componer muchas preparaciones galénicas. Presidente durante años de la Sociedad de Farmacéuticos del Sur de Alemania. Toma parte activa en el Primer Congreso Internacional de Farmacéuticos celebrado en Braunschweig. Forma parte del Comité Editor de “Annalen der Pharmacie” junto con Emil Erlenmeyer (1825-1909), Justus Liebig y Friedrich Wöhler.
	Joseph Dittrich (1818-1898). Vicepresidente (Praga)	Ver I Brunswick, 1865.
	J. Andres. Vicepresidente (St. Petersburg) (Frederking, 1874, p. 261)	Farmacéutico en San Petersburgo.

Congreso	Personalidad	Comentario sobre sus actividades profesionales
	<p>William Procter (1817-1884). Vicepresidente (Philadelphia) (American National Biography, n.d.; AphA, n.d.; Hancok et al., 1914; Higby, 1992; Memoir, 1874; Schütze, 2002; Wikipedia, n.d.; Worthen, 2002; Worthen, 2012)</p>	<p>Padre de la farmacia estadounidense: “for American Pharmacy, Procter has served as a symbol of identity and pride”. Ejerciente, experimentador, editor, líder de asociación, entusiasta, vitalista y profesor. Sienta las bases de la farmacia de hoy día gracias al impacto que ejerce su labor pionera. Nace en Baltimore, MD, y fallece en Philadelphia, PA. Noveno hijo y el más joven de Isaac y Rebecca Procter. Al morir su padre se traslada a Pensilvania y a los 14 años trabaja (desde 1831-1836) como aprendiz en la farmacia de Henry M. Zollickoffersita en la esquina de las calles Sexta y Pino, residiendo en la casa de esta familia, donde pasa su tiempo libre estudiando física y química. Interesado de niño por la mineralogía. Cae una copia de la química de Henry en sus manos: “This is just what I like”. Se gradúa (1837) en la Facultad de Farmacia de Filadelfia. El tema de la tesis es “Lobelia Inflata”, trabajo de gran mérito en el que demuestra la presencia de un alcaloide, la lobelina, del que depende la actividad medicinal de la planta. Cultiva su formación de forma autodidacta con la lectura de la Química de Turner, el Diccionario de Ure y la Química de Dalton sintiéndose atraído por la electricidad, el galvanismo y el electromagnetismo, ramas en las que Davy y Faraday estaban forjando sus cimientos. Asiste a las conferencias de los Drs. Hare, Mitchell y Bache el verano de 1840. Acepta en 1841 la posición de secretario del comité de revisión de la Farmacopea. En febrero de 1844 adquiere un a propiedad en la esquina suroeste de las calles Novena y Lombard y abre allí una Oficina en mayo. Desarrolla nuevos preparados y estudia las fórmulas de la farmacopea para mejorarlas. Profesor (1846) del “Philadelphia College of Pharmacy” (durante 20 años). Dirige (1850 a 1871) el “American Journal of Pharmacy”. Aboga en la Convención de Farmacéuticos de Nueva York (1851) por la creación de la asociación farmacéutica nacional estadounidense, fundada un año después (American Pharmaceutical Association), siendo su primer secretario y después presidente. Promueve los intereses de la ciencia de la farmacia y populariza la educación en productos farmacéuticos más que ninguna otra persona. El “Lehrbuch der pharmazeutischen Technik” (Libro de texto de Tecnología Farmacéutica) de Carl Friedrich Mohr (1806-1879) es especialmente valioso. En él se basa el libro de Redwood sobre “Practical Pharmacy”, publicado en Inglaterra, y una voluminosa edición publicada por Procter en los Estados Unidos, enriquecida con la adición de sus propios comentarios. Este es el primer libro de texto sobre farmacia para estudiantes estadounidenses, aunque nunca se hizo una segunda edición, quizás debido al elevado coste de las ilustraciones, sin las cuales el trabajo hubiera perdido gran parte de su valor. En 1866 renuncia a la cátedra de Farmacia, siendo sucedido por el Prof. John M. Maisch (1831-1893), que efectúa un intercambio con el Prof. Edward Parrish (1822-1872) que corría a cargo de la Materia Médica. Procter es honrado con una estatua de tamaño natural en la sede de la Asociación Farmacéutica Estadounidense en 1941, colocada en la rotonda Ernest Mario.</p>

Congreso	Personalidad	Comentario sobre sus actividades profesionales
	<p>Carlos Ferrari y Scardini (1820-1890). Vicepresidente (Madrid, España) (García Gómez de Madariaga, n.d.; Memoria, 1862; Puerto Sarmiento, 1981; Roldán Guerrero, 1975, Tomo II; Saez y Palacios et al., 1878)</p>	<p>Hijo de farmacéutico con Oficina en la Plaza de San Ildefonso 7 bajo, una de las más elegantes de la Ciudad tras las reformas que llevó a cabo, famosa por la extraordinaria elaboración de los medicamentos y demandada por los estudiantes para la realización de las prácticas. Farmacia que perteneció más tarde a la familia Puerto. En ella se anuncia “la venta de las pastillas pectorales de la Ermita, las aguas mineromedicinales Salinas Frías, tituladas de la Margarita, Loeches, y la pomada para las grietas del Doctor Roncal, entre otros productos”. Ldo. (1840) y Dr. (1845) en Farmacia. Colabora en la lucha contra las invasiones de cólera que asolan a Madrid. Ayudante de los Hospitales Generales de Madrid (1841) a las órdenes de Rafael Sáez y Palacios (1808-1883) con el que traduce obras de afamados autores extranjeros: Charles Rodolphe Eugene Kaeppling (1810-1891), Jöns Jacob Berzelius (1779-1848), Eugène Souberain (1797-1859) y Liebig. El texto de química de Berzelius aparece en Madrid en 15 volúmenes entre 1845 y 1852. Traducido de la versión francesa de Valerius de la cuarta edición alemana (1838), da a conocer el sistema atómico de Berzelius en España. Profesor agregado (1848) de la Facultad de Filosofía (Ciencias). Estudia (análisis cualitativo y cuantitativo) el agua mineral de Aramayona (Álava). Gana una Cátedra de la Facultad de Farmacia de Granada y renuncia para dedicarse al ejercicio práctico de la profesión. Concejal Ayto. de Madrid. Redactor de “El Restaurador Farmacéutico” y de “El Siglo Médico”. Socio correspondiente (1869) de la Academia de San Petersburgo y de la Academia Imperial de Viena (1870). Caballero de la Orden de Carlos III.</p>
	<p>Louis Mosca. Vicepresidnete (Turín, Italia)</p>	<p>Miembro de la Administración Municipal de Turín. Decano de la Sociedad de Farmacia de Turín. Profesor agregado de la Escuela de Farmacia de Turín.</p>
	<p>Stephane Robinet (1796-1869). Secretario General (Paris)</p>	<p>Ver I Brunswick, 1865, congreso en el que es vicepresidente.</p>
	<p>Jean-Baptiste Dumas (1800-1844). Presidente Honorario (Paris) (Bouvet, 1947; Cattelain, 1954; Dumas, 1879; Kapoor, 1971; Martin et al., 2018; Roche, 1984; Sáez-Plaza et al., 2017)</p>	<p>Hijo del secretario del Ayuntamiento de Ales. Tras pasar por el Colegio se inicia como aprendiz de farmacia. Estudia farmacia en Ginebra (1816) donde aprende química, física y botánica con Gaspard de la Rive (1770-1854), Marc August Pictet (1752-1825) y Augustin Pyrame de Candolle (1778-1841), respectivamente. Realiza experimentos de química en el laboratorio de Le Royer, una firma farmacéutica. “Répétiteur” en la Escuela Politécnica de París (1823) sucediendo un poco más tarde a Pierre Jean Robiquet (1780-1840) en la cátedra de química del Ateneo, donde imparte clase a adultos. Prosiguedespués su espectacular carrera académica química y profesional. Secretario Perpetuo de la Academia de Ciencias de Francia. En el prólogo del “Codex” rompe una lanza en pro de la profesión farmacéutica “Il est permis d’affirmer que s’il devait en être jamais ainsi, aucun esprit élevé ne pourrait sans douleur voir disparaître une profession libérale à qui revient le mérite d’avoir</p>

Congreso	Personalidad	Comentario sobre sus actividades profesionales
III Vienna 1869 9 Sept	Wilhelm Dankwortf (1822-1872). Presidente (Marburg) (Friedrich, 2014; Frederking, 1874, pp 253-254; Hoffmann, 1892; Obituary, 1892; Overbeck y Schlienkamp, 1861; Programm, 1849; Schneider, 1966)	<p>préparé de loin la transformation de la chimie moderne. Car c'est elle qui en a fondé et perpétué l'enseignement, qui en a créé les anciennes méthodes expérimentales et les premiers appareils, qui lui a valu Scheele, Vauquelin, Davy, Pelletier, Robiquet, et qui a eu l'insigne honneur de donner à Lavoisier ses premières leçons". Da traslado en su Elogio de las palabras que pronuncia Balard en el lecho de muerte: "N'oubliez pas que j'ai été élève en pharmacie... Les élèves qui vont en suivre les cours associeront le nom de Balard à ceux de Scheele et de Davy, rivaux de gloire de Lavoisier; à ceux de Vauquelin, de Pelletier, de Robiquet, de Serullas, de Pelouze, de Claude Bernard, nos anciens confrères; et, fiers de ces maîtres illustres, qui, comme lui, se souvinrent toujours de leur origine, ils se montreront fidèles, dans l'intérêt de la patrie, à leurs nobles traditions de travail, de persévérance et de génie".</p> <p>Natural deMagdeburg (Sajonia-Hanhalt) donde fallece. Aprendiz (1838) en la farmacia del Ángel, supera el examen de asistente y tras otros dos años en el mismo establecimiento, pasa un año en el hospital militar de Magdeburgo. Prosigue conel Dr. C. Müller en Aachen (Aquisgrán) durante dos años y medio. Estudia química analítica en Halle. Apruebael examen estatal en 1848; Pasa tres años y medio en Magdeburg con Alexander Jesnitzer, propietario de la farmacia "Los Leones", asesor farmacéutico del Colegio Médico del estado de Sajonia, y otro más en Neustadt-Magdeburg con Niemyer. Administrador de la farmacia del hospital municipal de Magdeburgo. A principios de los 50 consigue gran notoriedad pública al enfrascarse en la defensa de un fondo de pensiones para los asistentes de farmacéuticos y en una polémica sobre el "borrador de una ordenanza farmacéutica" elaborada en 1849 por Friedrich Gottfried Hermann Lucanus (1793-1872), farmacéutico de Halberstadt (Sajonia-Anhalt), amante del arte y restaurador y Julius Edmund Schacht (1804-1871), representante farmacéutico político comprometido, que había comprado en 1833 la "PolnischeApotheke" (farmacia polaca) de Berlín, y recibe en 1858 un doctorado honorario de la Universidad de Greifswald (Pomerania Occidental). En 1852 Dankwortt adquiere en Magdeburg la farmacia del Sol, en cuya posesión permanece hasta 1890, año en el que la cede a su hijo. Miembro de la Asociación de Farmacéuticos del Norte de Alemania (1859), de la Junta Directiva (1863) y presidente sustituyendo al Dr. Ludwig Franz Bley (1801-1868). En ese puesto cosecha importantes logros para la asociación y prepara la unión con la Asociación del Sur de Alemania, que se completa en la reunión conjunta de Frankfurt am Main en 1872, aunque declina la presidencia por motivos de salud. Colaborador muy activo de la "PharmacopoeiaGermaniae" que aparece en 1862, y 1867 (2ª ed.). Recibe el reconocimiento de la Asociación Farmacéutica de San Petersburgo, la Asociación de Farmacéuticos Austríacos y de los Colegios de Farmacéuticos de Filadelfia y Chicago (Miembro honorario). Correspondiente de la Sociedad de Farmacia de Paris. En 1890 la Universidad de su provincia natal Halle lo nombra "Doctor Honoris Causa en Philosophiae". La Universidad de Magdeburg no se funda hasta 1993; es una de las más jóvenes de Alemania.</p>

Congreso	Personalidad	Comentario sobre sus actividades profesionales
	Stephane Robinet	Ver I Brunswick (vicepresidente) y II Paris (Secretario General).
	Julius Karlovich von Trapp (1814-1908). Vicepresidente (St. Petersbourg) (Deutsche Biographie, (n.d.; Frederking, 1874, pp 248-249; Raubenheimer, 1914; Schneider, 1990)	Se le considera como el antiguo maestro de la farmacia rusa. Consejero Privado y Caballero. Natural de Mariampol, hijo de un farmacéutico de Prusia emigrado a la Polonia rusa (Lituania), fallece en Hungerburg (Innsbruck, Austria). Aprendiz (1831-25) del farmacéutico Benjamin Maurach en Tilsit (Lituania), examen que supera en 1836. Estancias en Varsovia (1836-38), y St. Petersburg (1838-1840), donde cursa los estudios de farmacia (1840-42), aprobando el examen provisional ("Provisor") en 1842. Asistente (1843) en el laboratorio químico de un cirujano médico. Aprueba el examen de boticario (1844), se gradúa (1847) y se convierte en profesor adjunto de farmacia (1848). Estudia Medicina (1854-1856) en la academia médica quirúrgica, graduándose en 1858. Profesor de Farmacia (1856) y de Medicina (1863). Doctor por la Universidad de Königsberg. Director (1869) de la Sociedad Farmacéutica de St. Petersburg. Caballero de las Ordenes de Wladimir y de Santa Ana. El Rey de Holanda lo nombra "Caballero de la Orden de los Leones". Publica trabajos sobre análisis del agua del río Neva, y del lago Ladoga, descubre el cloruro de yodo endurecido por cristales, examina el aceite de Cicuta virosa y de Ledum palustre, y escribe sobre determinación cuantitativa de arsénico y otros tratados. Obras de más envergadura son (principalmente en ruso): 1) las plantas medicinales de Rusia; 2) Handbuch der Pharmacognosie; 3) Manuale pharmaceuticum; 4) Ayuda para intoxicaciones 5) Tuberías de agua con plomo; 6) Pharmacopoeiamilitaris; 7) Pharmacop. Rossica 1866, 2a ed. 1871. Editor de la revista rusa de farmacia.
	F. Klinger. Secretario (Vienna)	Ver I Brunswick (secretario)
	Lehmann. Secretario (St. Petersburg) Frederking, 1874, p. 253)	Publica algunos artículos interesantes en el "Russische Zeitschrift für Pharmacie".
	Fr. Vorwerk. Secretario (Speyer)	Ver I Brunswick, 1865, congreso en el que es secretario.
	Schürer von Waldheim Anton (Heinrich Ludwig Peter). Anton von Waldheim (1830-1889). Intérprete (Austria) (British Pharmaceutical, 1894; OBL, n.d.; Vereins, 1886; Wien Geschichte Wiki, n.d.)	Nace y muere en Viena. Hijo del farmacéutico Karl, dueño de la Oficina "La Corona Dorada" (Zur Goldenen Krone). Aprendiz en la farmacia de su padre. Estudia en la Universidad de Viena. Ingresa en el cuerpo principal de farmacéuticos (1853). Practica en Dresde, París y Londres, y en 1856 se hace cargo de la farmacia en Himmelpfortgasse al fallecer el padre. Tesorero (1867), subdirector (1870) y director (1892 a 1898) de la Asociación Farmacéutica austriaca. Ayuda a regular el sistema de farmacia militar en 1868/69 y 1888/89. Actúa junto con el Dr. Schloser como miembro de la comisión para la redacción de una nueva farmacopea austriaca en 1868-1869. Funda en 1880 la asociación de apoyo al farmacéutico "Hygea", que a través de su influencia y actividad incansable

Congreso	Personalidad	Comentario sobre sus actividades profesionales
		<p>consigue dotarla de sustanciales fondos para pensiones. Presidente de la Primera Exposición Farmacéutica Internacional en Viena, cuyo éxito hace que su Majestad el Emperador lo reciba en audiencia para expresar su más alto aprecio por el logro, así como su Alteza Imperial el archiduque Carl Ludwig, alto protector de la exposición, reconociendo su éxito. Presenta en el Congreso Internacional Farmacéutico de 1885 un estudio sobre la estandarización de la nomenclatura de las drogas, siendo bien acogida sus sugerencias e incluidas en las Farmacopeas de algunos países europeos. Miembro del Consejo Superior de Sanidad (1889) estando también al frente de instituciones sociales. Ha sido Tesorero de la Sociedad de Física y Química de Viena. Representante de la Asociación General de Farmacéuticos Austriacos en los Internacionales de París, Viena, San Petersburgo y Londres, siendo enviado al de Bruselas por el gobierno austriaco como delegado. De sus cinco hijos, uno es médico y dos también farmacéuticos; las dos hijas casadas con farmacéuticos. Reconocido por numerosas Asociaciones Farmacéuticas de Europa y América del Norte (París, Madrid, Turín, Moskau, Kopenhagen, Brussels, Gent, Pest, Antwerpen, Warschau, Viena), siendo Presidente Honorario o director de estas. En 1894 es elegido junto con Joseph Remington (ver VII Congreso) miembro honorario de la “British Pharmaceutical Conference” (los dos únicos miembros elegidos ese año). Su Majestad el Emperador de Rusia le otorga (1874) la Cruz de Caballero de la Orden de Santa Ana. Es considerado una de las personalidades más destacadas de la clase farmacéutica austriaca, marcando el destino de esta profesión en la segunda mitad del siglo XIX.</p>
	<p>Joseph Dittrich (1818-1898). Intérprete (Praga)</p>	<p>Ver I Brunswick, 1865, congreso en el que es presidente. En el Congreso II Paris 1868 es vicepresidente.</p>
<p>IV St. Petersburg 1874, 12-17 Agosto</p>	<p>Anton von Waldheim (1830-1889). Presidente (Vienna, Austria)</p>	<p>Ver III Vienna 1869, congreso en el que actúa de intérprete.</p>
	<p>Hans Peter Madsen (1835-1919). Vicepresidente (Copenhagen, Dinamarca) (12 hrs in Capenhagen, n.d.; KentesGravsted, n.d.; Stamp, n.d.; Wikipedia CDAH, n.d.)</p>	<p>Presidente de la “Kjöbenhavn’sApotheker-forening”. Hijo de farmacéutico. En 1850 aprendiz en la farmacia Løve de Ålborg (Jutlandia Septentrional, Dinamarca). Se gradúa en 1857. Tras un tiempo en Aarhus Svaneapotek viaja al extranjero durante tres años para estudiar en Alemania, París y Londres. A partir de 1861 trabaja en la farmacia Vesterbro de su padre en Copenhague, haciéndose cargo de ella en 1864, introduciendo nuevos dispositivos y métodos, convirtiendo el establecimiento en una farmacia modelo dotándola con todo lo nuevo en el arte de la medicina y la farmacia. Christian DitlevAmmertorp Hansen (1843-1916) farmacéutico y fabricante danés, inicia con H.P. Madsen en 1874 una empresa conjunta cuyo trabajo se centra en los enzimas; en 1892-95 Hansen llega a ser el primer director de la Facultad de Farmacia de Copenhagen. La empresa, Chr. Hansen, que fabrica una amplia gama de productos</p>

Congreso	Personalidad	Comentario sobre sus actividades profesionales
		<p>biotecnológicos, es clasificada en 2019 como la más sostenible del mundo. H.P. Madsen construye en 1886 un laboratorio de preparación, análisis e investigación. El edificio construido alberga la instalación de producción para la farmacia durante más de 100 años, y se abandona una vez cerrada la instalación en la década de 1980. En su lugar existe hoy día un bar. H.P. Madsen publica varias disertaciones en revistas danesas y extranjeras y participa en congresos y reuniones médicas, convirtiéndose en un personaje muy familiar. Miembro honorario de numerosas compañías farmacéuticas extranjeras. Miembro de la junta de la Asociación Farmacéutica, presidente de la Asociación de Farmacéuticos de Copenhague, vicepresidente de la Asociación de Farmacéuticos Daneses, cofundador y presidente de la Fundación para la Promoción de Estudios Farmacéuticos, miembro de la Junta de representantes de la Asociación de Apoyo Farmacéutico, asesor en la Facultad de Salud. Miembro de la Comisión de Farmacopea y durante varios años Censor en el examen del Máster Farmacéutico. Toma parte activa en los planes para la construcción de la Skt. Iglesia de San Mateo en Vesterbro. En 1912 su hijo el dr. Phil Erik Høst-Madsen, pasa a dirigir la “Vesterbro Apotek”. Caballero de la Orden de Dannebrog. El bar de tres pisos en el moderno distrito de Vesterbro está ubicado en una casa construida en 1886 por el farmacéutico H.P. Madsen. El edificio albergó una instalación de producción para la farmacia Vesterbro durante más de 100 años, pero se abandonó una vez que la instalación cerró en la década de 1980. Cuando Rasmus lo descubrió en 2010, vio el potencial para revivir la propiedad y ofrecer curas sin receta.</p>
	<p>Julius von Trapp (1814-1908). Vicepresidente (Rusia)</p>	<p>Ver III Vienna 1869, congreso del que es vicepresidente.</p>
	<p>Camille-Jean-Marie Méhu (1835-1887). Secretario (Paris) (Académie n.d.; BnF data, n.d.; Bourguelot, 1910; Catalogue, 1890, pp 46-47; Méhu, 1875; Mehú, 1883; 1862; Obituary 1887; Obituary 1888)</p>	<p>Primer secretario de los cuatro nombrados en el congreso, junto con Sutton (Inglaterra), Janauscheck (Praga) y Rennard (St. Petersburg). Méhu nace en Dijon (Côte d’Or) en Bourgogne y fallece en Paris. Graduado farmacéutico de 1ª Clase (1862) por el Colegio de Farmacia de París, con la Tesis “Recherches pour servir à l’histoire chimique et pharmaceutique de la petite centaurée”. Doctor en Medicina (1865) por la Facultad de Paris. Farmacéutico jefe (1862) del Hospital Necker y del “Charité Hospital” (1871). Miembro de la Sección de Farmacia de la Academia de Medicina (1880). Presidente de la Sociedad Farmacéutica de Paris (1880). Autor de numerosos ensayos químicos y farmacéuticos. Investigación orientada hacia temas patológicos dada su condición de farmacéutico de hospital. Traduce al francés la 4ª edición inglesa del “Sutton Volumetric Analysis”. Presenta un borrador de Farmacopea Universal elaborado por la Sociedad de Farmacia de Paris en este IV Congreso. Representa a la Sociedad Farmacéutica de Paris como delegado en el V Congreso Farmacéutico Internacional (1881) de Londres, donde es elegido miembro de la Comisión de la Pharmacopea Internacional elaborada por la Sociedad Farmacéutica de Gran Bretaña. Correspondiente de</p>

Congreso	Personalidad	Comentario sobre sus actividades profesionales
	Francis Sutton (1831-1937). Vicepresidente (Londres) (F.N.S., 1918; Johnson, 1917; Richardson, 1846, p. 13; Sutton, 1863; Sutton, 1874-75)	la Academia de Medicina de Bélgica. Miembro honorario de muchas sociedades farmacéuticas incluidas las de Chicago, Filadelfia y la Sociedad Farmacéutica de Gran Bretaña. Director del Anuario de la Farmacia Francesa y Extranjera, redactor especialmente encargado de la difusión de los trabajos de farmacia publicados en el extranjero de 1873 a 1877. Natural de Great Plumstead (Norwich, Norfolk). A la edad de 14 aprendiz de Harper, químico y farmacéutico en Norwich con el que sigue hasta 1851. Interesado en el estudio de la materia médica, botánica y química. Prosigue el aprendizaje con el Dr. R.M. Glover en Clayton Street (Newcastle-on-Type) que abre un Dispensario junto con el cirujano H.G. Potter, y que después marcha a Londres como médico del “Royal Free Hospital”. En este centro industrial químico Sutton toma contacto con Joseph Wilson Swan (1828-1917), químico, inventor de la lámpara incandescente y John Pattison, químico analítico, miembro del Consejo de “The Society of Chemical Industry”. Trabaja como estudiante en el laboratorio de Thomas Richardson (1817-1867), profesor de química de la Universidad de Durham. Miembro de la Sociedad Farmacéutica (1853). Autor de “A Handbook of Volumetric Analysis” que alcanza diez ediciones en vida, la primera en 1862. La 1ª edición contiene 273 páginas, y en su prefacio comenta: “Up to the present time, with the exception of a small and somewhat exclusive book, written by Mr. Scott of the Trinity Office, Dublin, there has been no English text-book on the subject...”. Farmacéutico en Norwich al fallecer su antiguo maestro. Analista público del Condado de Norfolk y Borough de Great Yarmouth. Impulsor de la Farmacopea Internacional. Experto ante el Comité del Parlamento en Asuntos legales. Fundador y gerente de una empresa de productos químicos en Yarmouth (1870). Miembro del Consejo de la Sociedad Farmacéutica de 1870 a 1876, fecha en la que se dedica a los negocios de empresa, a la práctica analítica y a otros asuntos. Miembro correspondiente de la Sociedad Farmacéutica Imperial de St. Petersburg y de la Asociación Farmacéutica de Viena. Amante de la música, poseía un considerable conocimiento de la música clásica y operativa, tocando el clarinete y el oboe en la orquesta.
	Janauscheck. Vicepresidente (Praga)	De la Sociedad Farmacéutica de Praga
	Edwards Rennard. Vicepresidente (St. Petersburg) (Album Academicum der, 1867; Literarur, 1872; Personal, 1872)	Natural de Curland (Estonia). región situada en el golfo de Riga a orillas del mar Báltico. Disertación de Magister (1871) en la Universidad de Dorpat (Tartu): “Das wirksame Princip im wässrigen estillate von Canthariden” (El principio activo en los destilados acuosos de Cantáridos). Jefe de los laboratorios químicos de los depósitos de productos farmacéuticos y de las revistas farmacéuticas. Editor de la “Pharmaceutische Zeitschrift für Russland”

Congreso	Personalidad	Comentario sobre sus actividades profesionales
V London 1881, 1-3 Agosto	Theophilus Redwood (1806-1892). Presidente (London) (Asuero 2019b; Hudson y Boylan, 2013; Martin et al., 2018; Martin et al., 2019; Obituary, 1892)	Es uno de los héroes de la farmacia británica. Nace en Boverton (Glamorganshire, Sur de Gales), donde también fallece. Aprendiz con su tío, boticario en Cardiff. Sigue como aprendiz con Jacob Bell (1810-1859) en Oxford Street en cuyo establecimiento pasa siete años antes de abrir su propia fábrica química y farmacéutica en Crawford Street. Profesor (1842) de la Escuela de farmacia y director (1844) de su primer laboratorio de química; asume la carga docente de George Fownes cuando éste renuncia. Publica el primer libro de texto de “Practical Pharmacy” (1849) en Gran Bretaña, una traducción ampliada y editada de un libro del alemán Carl Friedrich Mohr (1806-1879). Editor tras la muerte (1859) de Jacob Bell de “The Pharmaceutical Journal” junto con Robert Bentley (1821-1893) y John Barnard. Edita la Farmacopea Británica en 1867 y 1885, y es coautor con Bell del Bosquejo histórico del progreso de la farmacia (1880). Primer bibliotecario y conservador de museo de la Sociedad Farmacéutica. Presidente de la Conferencia Farmacéutica Británica en 1876 y 1877. Primer presidente de la “Society of Public Analysts”, convertida más tarde en la “Society for Analytical Chemistry” y después en la División Analítica de la “Chemical Society”, hoy “Royal Society of Chemistry”. El escudo de armas de la “Society for Analytical Chemistry” contiene una guirnalda de hojas rojas de roble en alusión a su nombre (Redwood). Justus Liebig le confiere en uno de sus desplazamientos a Inglaterra aun doctorado honorario. Ocupa durante veinte años seguidos puestos directivos en la “Chemical Society”: miembro del Consejo (1849-50), secretario (1851-1865), tesorero (1865-1869) y vicepresidente (1869-1872). Carteighe (1982) ha dicho: “Era un galés terco, y lo mejor de Redwood era que cuando lo colocabas en una dificultad, cuando le dabas algo por lo que valía la pena luchar, o algo que era necesario conquistar, o un problema a resolver que parecía insoluble, entonces daba lo mejor de sí mismo. Realmente tenías que arrinconarlo”.
	Michael Carteighe (1841-1910). Secretario General (London) (Bonnemain, 2010; Foster, n.d.; Hills, 1911; Hudson y Boylan, 2013; Obituary, 1910; Remington, 1912; The Hospital, 1910)	Natural de Lancashire, de ascendencia irlandesa, fallece en Goring-on-Thames (Oxfordshire) Al salir del University Collegedonde es demostrador con el químico Alexander William Williamson (1824-1904), ingresa en la Escuela de Farmacia de Bloomsbury Square, en la que consigue como estudiante (1862) su máxima distinción, la Medalla Pereira. Se une (1863) junto con su hermano a la firma de Dinneford and Co. Elegido auditor de la Sociedad Farmacéutica en 1864 llega a ser miembro del Consejo de la Sociedad en 1866. Implicado en la aprobación de La Ley de Farmacia (Pharmacy Act) de 1868. Es uno de los fundadores del Instituto de Química del que es vicepresidente (1882-1884) y (1890-1893). Miembro de la Sociedad de la Industria Química y de la Sociedad de Química. Vicepresidente de la Sociedad de las Artes. Secretario de la British Pharmaceutical Conference en 1880 y 1882, goza de buena reputación científica. Su papel en la creación y funcionamiento de un Departamento de Investigación en la Facultad de Farmacia es fundamental. Presidente de la Sociedad Farmacéutica de Gran Bretaña (1882-1896). Juega un papel decisivo en las intensas negociaciones sobre la reforma de la legislación farmacéutica que finalmente da como resultado la Ley

Congreso	Personalidad	Comentario sobre sus actividades profesionales
VI Brussels 1885, 31 Agosto- 3 Sept	Desiré Alexandre (Henry) van Bastelaer (1823-1907). Presidente (Brussels) (BnF Data, n.d.; Copin, 1961; Deelstra, 2009; En e, 1907; Masoin, 1907; Nº 83 pl. LXVIII, 1886; Van Bastelaer, 1968; Van Bastelaer, 1877; Van Bastelaer, Tiggelen y Deelstra, 2008; Van Tiggelen y Fauque, 2012, 2012; Wikipedia, n.d.)	de Farmacia (Pharmacy Act) de 1908. También representa un papel importante en los litigios de la Sociedad para proteger el estado de los farmacéuticos registrados. Una propuesta suya al Consejo de la Sociedad Farmacéutica conduce al primer Codex Farmacéutico Británico en 1907. Miembro de la Royal Institution y miembro honorario de muchas asociaciones farmacéuticas extranjeras. Es el último superviviente de todos los correspondientes extranjeros que nombra la Sociedad de Farmacia de París en el congreso internacional celebrado el año de la exposición universal (1867). Nace en Namur (Región Valona) y fallece en Saint-Josse-ten-Noode región de Bruselas capital). Estudia humanidades en el seminario menor de Bonne-Espérance en Charleroi (Valonia) y luego completa allí un primer año de filosofía. Profesor (1843) en un establecimiento privado en Tournai, donde prepara el examen de Farmacia que aprueba (1845). Dr. en ciencias naturales (1852). Farmacéutico en Charleroi (1848), instala en la Oficina un laboratorio donde realiza análisis industriales de la región e investigaciones y estudios toxicológicos de productos adulterados. Químico de la ciudad (municipal) y de la corte de Charleroi (1850). Presidente de la Unión Farmacéutica de Charleroi (1867) y de la Asociación General de Farmacéuticos de Bélgica (1884). Miembro (1868) y presidente (1889) de la Real Academia de la medicina de Bélgica. Es uno de los fundadores (1876) de la Sociedad de Medicina Pública de Bélgica. Colabora en los trabajos de la Real Sociedad de Arqueología, Historia y Paleontología de Charleroi, que preside desde 1872. Construye un museo en Charleroi para albergar las colecciones de la Sociedad. Miembro (1878) de la Comisión Real de Monumentos y miembro de pleno derecho de la Academia Belga de Arqueología (1895). Presidente de la Sección de Alimentos de la Sociedad Belga de Química, que contribuyó a crear. Lleva a cabo el examen químico de hallazgos arqueológicos, especialmente cerámicos. Premios por las tesis presentadas a concursos organizados por la Sociedad de Farmacia de Amberes y la Sociedad de Ciencias Médicas y Naturales de Bruselas.
	Théodore Henri Belval (1832-1897). Vicepresidente (Brussels) (Académie Royale, n.d.)	Natural de Tournai (Región Valona) fallece en Bruselas. Asistente de física y química en el Ateneo de Tournai. Ldo. en Farmacia (1854) por Bruselas. Doctor en Ciencias por Lieja (comienzo de los estudios) y Bruselas (1859). Conservador del Museo de Historia Natural de Bruselas y miembro y secretario del Comité de Seguridad Pública de Saint-Josse-ten-Nodo (Región de Bruselas-Capital). Concejal Municipal de esta localidad (1863 a 1870). Inspector de Higiene del Ministerio belga del Interior y Salud Pública. Correspondiente de la Real Academia de Medicina de Bélgica. Fundador y secretario del Comité de Saneamiento de Bruselas (1863). Miembro del Jurado Central examinador de ciencias (1865 a 1876) y del jurado combinado (Liégé-Gand-Brussels) de farmacia. Director del Museo de Ciencias Naturales (1869 a 1871). Miembro de la Comisión Médica de Brabant (1871) y de la Local de Bruselas (1872). Recibe tras la epidemia de cólera la Orden de Leopoldo y la Cruz Cívica de

Congreso	Personalidad	Comentario sobre sus actividades profesionales
		Primera Clase. El Rey de Suecia lo nombra Caballero de la Orden de Vasa, instituida por Gustavo III en 1772. Miembro de 14 Sociedades científicas con numerosas publicaciones.
	Louis (Ludovicu) Cornélis (1828-1887) Vicepresidente (Crespadi Wikidiest, n.d.; Gille, 1887)	Natural de Jauche (Bravante, Región Valona) fallece en Aarschot (Bravante, Región Valona). Farmacéutico en el hospital de Diest. Inventor de tapas de vidrio especiales para la peptona. Antiguo presidente de la Asociación General Farmacéutica de Bélgica. Miembro de la Comisión Médica de Bravant. Journal de pharmacie d'Anvers (1852 y 1879). Bulletin de la Société royale de pharmacie de Bruxelles (1870). Bulletin de l'Académie royale de Médecine de Belgique (1876). Publica sobre conservación de alimentos, pólvora de guerra, carne seca y productos químicos y farmacéuticos.
	L.F. de Nobele (1824-1924). Vicepresidente (Vanderwiele, 1984)	Vicepresidente de la Sociedad Farmacéutica de Flandes Oriental. Profesor de la Escuela de Horticultura de Gand.
	Henri Verhassel. Vicepresidente	Presidente de la Sociedad Farmacéutica de Anvers. Vicepresidente de la Asociación General Farmacéutica Belga. Delegado de la Sociedad Farmacéutica de Anvers en el V Congreso de Londres. Miembro del Comité de redacción del Journal de Pharmacie de Anvers.
	Ernest van de Vyvere.	Farmacéutico por la Universidad de Bruselas, con grado de distinción (1862). Vicepresidente de la asociación general farmacéutica de Bélgica. Secretario de la Comisión Médica de Bruselas.
VII Chicago 1893 21-23 Agosto	Joseph Price Remington (1847-1918). Presidente (Philadelphia) (Attfield, 1912; Dohme et al., 1918; Philadelphia College, 1918; Resolution adopted, 1918; Griffith, 1931; Lloyd, 1918; Remington, 1887; Remington, 1894; Remington, 1914; Remington, 1915; Jooseph Price 2021; Schütze, 2002; USP, n.d.; Wikipedia, n.d.; Worthen, 2002; Worthen, 2012)	Profesor de Farmacia y Decano de la Facultad en el Colegio de Farmacia de Filadelfia donde nace. "Teacher of Teachers" (Maestro e maestros). Hereda de la familia el gusto y el talento por el estudio e investigación científica. Su bisabuela materna era una de las boticarias más antiguas de la ciudad, su abuelo un farmacéutico y químico exitoso y su padre un reputado médico. En 1863 entra en Charles Ellis Sons & Co (gran compañía de venta de drogas al por mayor) donde presta servicios durante cuatro años y conlleva a la par los estudios de Farmacia en el Colegio de Filadelfia que concluye en 1866. Prosigue su formación los tres años siguientes con Edward Robinson Squibb (1819-1900), distinguido farmacéutico de Brooklyn, N.Y. Incrementa su bagaje sobre temas farmacéuticos, adquiere una práctica notable de análisis volumétrico, y se implica en la investigación en química aplicada y farmacia científica. Retorn Filadelfia, pasa tres años en Powers & Weightman y se convierte en asistente de Cátedra de Edward Parrish (1822-1872), pionero de la ética en la práctica profesional. Propietario de la farmacia de "Walnut and Thirteenth streets" de 1782 a 1785, prestando especial atención a las prescripciones compuestas y dispensación de preparaciones. Al fallecer William Protter (padre de la farmacia americana) en 1874 se le ofrece la Cátedra de Teoría y Práctica de la Farmacia, adquiriendo un gran peso en la profesión. Instituye en 1877 un sistema de instrucción en la práctica de la farmacia, creando un laboratorio farmacéutico y los cursos de "farmacia operativa" que sirven como referente y

Congreso	Personalidad	Comentario sobre sus actividades profesionales
		<p>modelo en todos los Estados Unidos. Presidente de la Asociación Farmacéutica Americana en 1893. Decano del Colegio de Farmacia de Filadelfia tras fallecer John Michael Maisch (1831-1893) (padre de la legislación farmacéutica adecuada). Publica la 1ª edición de su "Practice of Pharmacy" in 1885, "Remington Practice" en las ediciones subsiguientes. Esta obra voluminosa se convierte pronto en una guía para el estudiante y un punto de referencia obligado para la práctica profesional. Refleja las operaciones estándar de prácticamente todos los aspectos de la farmacia, desde aparatos de procesamiento hasta pesas y medidas, tablas de conversión y métodos de ensayo, redacción e interpretación de prescripciones de los principales métodos. Se publica todavía en la actualidad con el nombre de "Remington: The Science and Practice of Pharmacy" y sigue siendo la única fuente descriptiva sobre los aspectos técnicos de las operaciones farmacéuticas, así como de las especialidades y subespecialidades de las ciencias farmacéuticas (Flannery). La "Remington Honor Medal" (152-153) fue establecida en 1918 por la "American Pharmacists Association" en honor de este eminente farmacéutico comunitario, para reconocer los servicios farmacéuticos distinguidos en el año, o durante un largo periodo de actividad sobresaliente, o logro fructífero. Remington fue un participante activo y partidario del Congreso Internacional de Farmacéuticos. Preside el comité que supervisa la primera traducción al español de la Farmacopea de los Estados Unidos (USP) desde 1905 a 1917. Miembro de la "Chemical Society", "Linnean society" y "Royal microscopical Society" de Gran Bretaña y de otras numerosas organizaciones científicas. Elegido en 1894 miembro honorario de la "Pharmaceutical Society of Great Britain", una distinción conferida tan solo a tres científicos americanos hasta esa fecha.</p>
	<p>Michael Cartaiغه (1841-1910). Vicepresidente</p>	<p>Ver V Congreso, London 1881.</p>
	<p>Nicholas Henry Martin (1847-1916). Vicepresidente (Notices of fellows, 1917)</p>	<p>Natural de Trebarveth (Cornwall), fallece en Ravenswood (Gateshead). Aprendiz con un químico de Penryn (Cornualles). Cursa los estudios en la Facultad de Farmacia de Londres. En 1875 se une al Sr. Henry Brady, F.R.S., en Newcastle y crean la empresa Brady & Martin. Ocupa varios puestos de importancia, como presidente de la Conferencia Farmacéutica Británica. Presidente de la Sección de Newcastle de la Sociedad de la Industria Química. Participa en general de manera destacada en el desarrollo de la farmacia. Miembro de la "Royal Society of Edinburgh"(1903).</p>
	<p>William Martindale (1840-1920). Vicepresidente (Ainley, n.d.; Betts y Ho, 2013; Gane, 1902; Hudson y Boylan, 2013, p. 43; Martin et al., 2019;</p>	<p>Aprendiz con su tío en su Carlisle natal. Examen menor (1864) y mayor (1866) de farmacéutico. Asistente en la farmacia "Morson and Sons". En 1868 se integra en el "University College Hospital" (UCH) como su primer dispensador cualificado. Enseña Farmacia en la Facultad de Medicina de la UCH y se convierte en demostrador de Materia Médica. Se hace con la farmacia Hopkins y Williams sita en "New Cavendish Street" en el oeste de Londres. Examinador de a "Pharmaceutical Society" (1873 a 1882), miembro del Consejo</p>

Congreso	Personalidad	Comentario sobre sus actividades profesionales
	<p>Obituary Staiger, 2011a; Staiger, 2011b; Wade, 1999; William Martindale, n.d.)</p>	<p>(1889), tesorero (1898) y presidente (1899). Alcalde de Winchelsea y por tanto “Warden of the Cinque Ports”. En 1899 recae en una enfermedad previa haciéndose su hijo cargo del negocio. Se suicida con cianuro en 1902. Publica con William Wynn Westcott (1848-1925), un coronel londinense, “The Extra Pharmacopeia” (1883), que incluye las drogas no descritas entonces en la “British Pharmacopeia”. Se incluye el nombre de Martindale en la publicación (1972) en la ed. 26, cambiándose de nuevo el título en la 32 ed. a “Martindale: the Complete Drug Reference” (1999), con el que se conoce a la obra en la actualidad. La edición nº 40 data de 2020. “The Extra Pharmacopoea” absorbe en 1952 el “Companion to the British Pharmacopoea” de Peter Squire (1798-1884), propietario desde 1831 de una farmacia importante en Oxford Street, y el Squire’s Pocket (referentes ambos a preparaciones farmacéuticas y códigos de manufactura práctica). “Squire & Co” es adquirida por “Savaroy & Moore Ltd”, London, en 1950, y ésta por MacarthyLtd (más tarde plc) en 1967 y esta a su vez por “Lloyds Chemists plc” en 1992.</p>
	<p>Oscar Olberg (1848-1913). Secretario General (An American Educationist, 1895; Forrest, 1892; Medicinalvaesen, 1875, p. 48; Northwestern Librairies, n.d.; n.d.; People, n.d.; The Future Editor, 1894)</p>	<p>Natural de Alfta (Suecia), fallece en Pasadena, CA. Farmacólogo estadounidense. Hijo del pastor y autor Anders Oldberg (1804-1867), pedagogo sueco. Estudia farmacia en Falun de 1861 a 1865 con Fredrik W. Helleday (1800-1874), alumno de Jöns Jakob Berzelius, un conocido farmacéutico propietario de la oficina “La Gruya”, que ejercía una meritoria actividad en el campo de la química y de la mineralogía. Emigra a los EE. UU. y se convierte en profesor de la Facultad de Farmacia del “Georgetown College” (1869). Decano y profesor de farmacia en el “National College of Pharmacy” en Washington hasta 1881, donde se le concede al jubilarse un doctorado honorario. Proveedor desde 1874 hasta 1881 del “Marine Hospital Service”. Actúa como delegado de la Asociación de Farmacéuticos de Nueva York y del Colegio de Farmacéuticos de Nueva York en el V Congreso. Miembro del Comité de Revisión y Publicación de la Farmacopea de los EE. UU. de 1880 a 1910. Funda la Escuela de Farmacia (1896) de la Universidad de Northwestern (Chicago) y se convierte en su primer decano. Escribe numerosos libros sobre química, farmacología y metrología. Editor de “Apothecary” y del “Bulletin of Pharmacy”. Ha dicho: “druggist must either be a pharmacist or a quack”. Su hijo, Eric Oldberg, llega a ser presidente de la Junta de Salud de Chicago y administrador de la Orquesta Sinfónica de Chicago. Su hijo Arne Oldberg es conocido como compositor.</p>
<p>VIII Brussels 1897, 14-19 Agosto</p>	<p>Adelin Joseph Désiré Fernand Ranwez (1866-1925). Presidente (Universidad de Lovaina) (Academie Royale, n.d.; Astro Databank, n.d.; Bruylants, 1985;</p>	<p>Nace en Morialmé (Namur, Valonia, Bélgica) y fallece en Kesse-Lo (Leuven). Farmacéutico (1886), Doctor en Ciencias Naturales, Conferencista (1890), Profesor Extraordinario (1896) y Catedrático de la Universidad de Lovaina en 1900 (química farmacéutica, farmacia práctica y farmacognosia). Miembro de la Comisión encargada de preparar la revisión de las disposiciones legislativas y reglamentarias relativas al arte de curar y ejercicio de las profesiones médicas (1894-1899). Secretario de la Comisión permanente de Revisión de la Farmacopea Belga (1897-1906), Lovaina. Miembro</p>

Congreso	Personalidad	Comentario sobre sus actividades profesionales
	Chemist and druggist, 1925; Delstra, 2009; Fomu, n.d.; Necrologie, 1925)	de la Conferencia Internacional para la Unificación de Fórmulas de Medicamentos (1902). Miembro titular de la Real Academia de Medicina de Bélgica. Presidente de la Asociación General de Farmacéuticos de Bélgica (1895-1899), miembro de la Sociedad de Farmacia de París y del Consejo Superior de Higiene Pública. Fundador y editor en jefe de "Annales de Pharmacie", que contempla aspectos de química práctica, farmacognosia, géneros alimentarios, química, toxicología, microscopía, higiene, intereses profesionales y legislación. Los primeros artículos del número uno, tratan sobre la adulteración del azafrán (que él escribe), jarabes de la Pharmacopoea belga y la Farmacia en Bélgica en el momento actual. Caballero y Oficial de la Orden de Leopoldo. Condecorado con la Cruz Cívica de Primera Clase. Tras su muerte, Armand Castille (1898-1973) recibe casi todas las materias del curso de formación farmacéutica.
	Maurice Duyk. Secretario General (Garin y Forster, 1940; Bobby, 1931)	Usa el cloro por vez primera en Bélgica en el abastecimiento de agua publica en 1902. Explotado por la Sociedad anónima de abastecimiento de aguas.
IX Paris 1900, 2-8 Agosto	Arthur Petit (1837-1912). Presidente (Paris) (Bonnemain, 2012; Catalogue 1890, p. 47, Dilleman, 1985; Médard y Tachoire, 1944; Necrologie, 1912; Petit, 1862; Petit y Collin, 1897; René y Pierre, 1971; Sépulture, n.d.; Weitz y Julien, 1971)	Nacido en Issoudun (Indre, región Centro), fallece en Carqueiranne (Var). Medalla de oro (1861) en el "Concours de Prix" de los estudiantes graduados en los últimos tres años en la Facultad de Farmacia de Paris. Tesis Doctoral (1862) sobre la morfina y las preparaciones de opio. Asociado de Louis Mialhe (1807-1866), profesor agregado de la Facultad de Medicina de París y farmacéutico de hospital, llega en 1869 a ser titular, tras el discípulo de Souberain Jules-Auguste-Casimir Grassi (1818-1887), de la farmacia de la calleFavatn° 8, de tanto renombre, conservando el nombre de "Pharmacie Mialhe". Asumió la dirección de un laboratorio farmacéutico y tuvo bajo sus ordenes a varios químicos. Presidente de la Asociación general de Farmacéuticos de Francia. Presidente (1881) de la Sociedad de Farmacia de París, presidente de la Asociación General de Farmacéuticos de Francia. Miembro del Consejo de Administración de la Asociación General de Sindicatos Farmacéuticos de Francia. Nombrado presidente del Congreso Internacional de Farmacia de 1900, realizado en el marco de la Exposición de 1900, en lugar de Gustave Planchon (1833-1900), que había sido elegido primero. A partir de 1883 forma parte del Comité de redacción del "Journal de Pharmacie et de Chimie" en el que sucede a Antoine Alexandre Brutus Bussy (1794-1882). Trabajos importantes en diastasas, alcaloides, etc. Alcalde de Viroflay. Caballero de la Legión de Honor.
	Gustave Planchon (1833-1900). Presidente (fallecido antes del congreso) (Charlot, 2003; Havelange et al., 1986; Jaussaud, 2010; Rosemont, 1932).	Natural de Ganges (Hérault, Cévennes) fallece en París. Estudia en la Facultad de Medicina de Montpellier siendo laureado y adquiere el grado de Dr. en Medicina (1859). Profesor adjunto de Botánica en la Universidad de Lausanne (1860 a 1862). Regresa a Montpellier en 1861 para concluir sus estudios de Farmacia y sostiene su Tesis doctoral en ciencias naturales (1864). Profesor Agregado de la Escuela Superior de Farmacia de Montpellier. Sucede a Nicolas-Jean-Baptiste Guibourt (1790-1867) en la Cátedra de Materia Médica de la Escuela Superior de Farmacia de París (1866), donde

Congreso	Personalidad	Comentario sobre sus actividades profesionales
		<p>es nombrado director, cargo que ocupa hasta su muerte. Realiza estudios fitopaleontológicos y sobre el tropismo de las plantas (1857-1858) primero y después se dedica al estudio de las drogas simples. Trabajo notable sobre las quininas (1864). Investigaciones sobre la historia de la botánica y la distribución de los vegetales en la región de Montpellier. En 1869-70 y de nuevo en 1876 publica una nueva edición revisada y aumentada de la "Historia natural de las drogas simples" de Guibourt. Edita en 1875 una nueva obra: "Traité pratique de détermination des drogues simples". Escribe numerosos artículos de botánica médica en el "Dictionnaire encyclopédique des sciences médicales". La historia de la farmacia también es objeto de su erudición: "Historia de la Corporación del Colegio y de la Facultad de Farmacia desde el siglo XVI" y antiguas familias de las dinastías de boticarios: Nicolas Houel, el Pia, Boulduc, Geoffroy, etc. Farmacéutico encargado de la inspección general de las Facultades de Medicina y Farmacia. Presidente del Comité de Publicación del "Journal de pharmacie et de chimie". Presidente de la Sociedad Farmacéutica de París. Miembro de la Academia de Medicina (1877). Oficial de la Legión de Honor (1898). Presidente electo del congreso internacional de farmacia que iba a celebrarse con motivo de la Exposición Universal de París. Se dedica a la dirección del Museo y a la publicación de su "Histoire des Drogues simples" (París, 1895). Su hermano Jules Émile Planchon (1823-1888), farmacéutico, botánico y pteridólogo, fue director de la Escuela Superior de Farmacia de Montpellier durante 22 años.</p>
	<p>Jean Hippolyte Marty (1835-1918) (Balland, 1913; Labrude, 2020; Marti, 1888; Hippolyte Marty, 1918; Mordagne, 1953; Musée des Etoiles, 2015)</p>	<p>Natural de Caunes (Aude). Inspector Farmacéutico de la Armada (1890). Miembro de la Academia de Medicina. Inspector Farmacéutico Honorario de la Armada. Profesor de la Escuela de Medicina y Farmacia militares del Hospital Val-de-Grace. Miembro Honorario de dicho Hospital. Entre sus trabajos se encuentra "Le Plâtrage des vins". Presidente de la Sociedad Farmacéutica de París. Miembro del Comité técnico de Salud. Presidente Honorario de la Sociedad Farmacéutica de París. Comandante de la Legión de Honor.</p>
	<p>Jean-Baptiste François Raymond Fernand Jadin (1862-1944). Vicepresidente (Montpellier) (Academie, n.d.; Astruc, 1941; Collard, 1963; Fabre, 1944; Ministère de la Culture, n.d.)</p>	<p>Nace en Isla Mauricio (Colonia francesa) y fallece en Montpellier. La familia se traslada (1878) a Francia con lo que prosigue sus estudios de secundaria en Montpellier, en donde realiza el "stage" en una farmacia de la Ciudad. Estudia farmacia en la Facultad de Montpellier al mismo tiempo que Charles Henri Marie Flahault (1852-1935), pionero de la Filogeografía, Filোসociología, Ecología Forestal y de la divulgación de la ciencia, es profesor de Botánica en la Facultad de Ciencias. Farmacéutico de primera clase y Ldo. en Ciencias Naturales (1888). Preparador de Botánica y jefe de trabajos prácticos de historia natural (1889) en la Facultad de Farmacia. Participa en 1890 en una expedición científica a las Islas Mascareignes (Reunión, Mauricio, Rodrigues, Islas Agalega y Banco de Cargados Carajos) al Sudoeste del Océano Indico, sirviendo las plantas recogidas para la publicación de diversos trabajos. Diploma Superior de primera clase (1894). Agregado de Farmacia en la Escuela Superior de Farmacia en la Universidad de Montpellier (1894), encargado de los cursos de</p>

Congreso	Personalidad	Comentario sobre sus actividades profesionales
		<p>farmacia galénica y de mineralogía e hidrología. Publica el “Précis d’hydrologie et de minéralogie” para sus estudiantes de farmacia en 1899 consiguiendo dos ediciones adicionales. Académico de la Academia de Ciencias y Letras de Montpellier (1900). Doctor en Ciencias (1901). Profesor (1901) y enseña desde entonces la farmacia química y se especializa en farmacia hospitalaria. Redactor científico del “Bulletin de Pharmacie du Sud-Est”. En Materia Médica y Farmacia publica monografías muy importantes sobre los órganos secretores en los vegetales, así como sobre “le siège” de los principales medicamentos en los vegetales. Sin descuidar la investigación ni el trabajo de laboratorio se interesa por cuestiones profesionales y se convierte en un ardiente defensor de la profesión. Tras la primera Gran Guerra se traslada a Strasbourg como profesor y director de la Escuela Superior de Farmacia suprimida en 1871. Decano Honorario de la Facultad de Farmacia de Strasbourg.</p>
	<p>Jules-Valerie Calixte Crinon (1839-1929). Secretario General (Paris) (C. & D., 1929; Chereau, 1972; Flahaut, 203; Guitard, 1979; Lefebvre y Raynal, 2016; Necrologie, 1929; L’Union pharmaceutique, 1913)</p>	<p>Natural de Saint-Prix (Seine-et-Oise), fallece en París. Dotado de una fuerte personalidad, un notable espíritu organizativo y una sólida voluntad, dirige durante muchos años el “Directorio de Farmacias” que fusionó con “La Unión Farmacéutica”. Funda la “Mutua de seguros contra accidentes en farmacias”, bajo el patronazgo fe la Asociación General de Sindicatos Farmacéuticos de Farmacia”. Por decretos del 1 y 13 de julio de 1912 el Ministro de Trabajo y Seguridad Social le hace entrega de la medalla de honor (de oro) de los Sindicatos Profesionales Contribuye a fundar la Industria Química; organiza la fabricación de yodo en gran escala. En 1881 “démonçait l’industrialisation du compérage, jusqu’alors cantonné aux relations interpersonnelles”. Miembro de la Sociedad de Farmacia de Paris en 1881 y presidente en 1906. Miembro del Comité de Supervisión de la Farmacia Central de Francia en 1881, organización que preside desde 1903 hasta el día de la desaparición de esta organización, en 1928. Miembro fundador (así como su hijo Albert) de la Sociedad de historia de la Farmacia, iniciativa auspiciada por Charles Buchet (1848-1933), padre de la Sociedad francesa de historia de la Farmacia. Secretario general de la Asociación farmacéutica de Francia. Litografía un pedazo de una composición suya titulada “Vengeons-nous j”, de fecha 19 de noviembre de 1870 en la que apela a la valentía de los parisinos contra “la bande du Nort”: “Combattons en poussant ce cri patriotique: Mort à nos ennemis/ Vive la République; Ha sido descrito como el “Grand Old Man” de la farmacia francesa. Editor desde 1889 a 1927 del «Répertoire».</p>
<p>X Brussels 1910, 1-6 Sept</p>	<p>Albert-Jules-Chislain Derneville (1861-1911). Presidente (Brussels) (Buchet, 1911; Necrología, 1911; Obituary, 1911; Parfait y Labrude, 2001, p. 25; The</p>	<p>Natural de Houden-Goegnies (La Louvière, Henao, Bélgica). Estudia en la Universidad de Louvain donde obtiene su grado y se hace cargo de una de las farmacias más antiguas de Bruselas. Miembro de la Real Sociedad de Farmacia de Bruselas, de la que llega a ser tesorero y presidente (1895). En esta época se dedica ya totalmente a la defensa de los intereses de la corporación farmacéutica. Presidente de la Cámara Sindical de Farmacia de Bruselas y presidente de la “National Assurance”. Vicepresidente de la Asociación General</p>

Congreso	Personalidad	Comentario sobre sus actividades profesionales
Tenth, 1910).		Farmacéutica de Bélgica. Su oficina de farmacia en el 66 Boulevard de Waterloo es centro de atención en lo que respecta a exposiciones y exhibiciones. Laureado en el “Grand Concours” de la exhibición de Bruselas en 1888. Organiza la muestra del Congreso nacional de Farmacia de Bruselas (1895) y preside después la sección de Artes de la Exposición Universal de Bruselas en 1897 y la “Ostend Exhibition” en 1901. Jurado de numerosas exposiciones. Representante de la participación farmacéutica belga en la Exposición Internacional de Nancy (1909). Caballero de la Orden de Leopoldo. Condecoración del Mérito Agrícola en Francia (1902).
Oliver Kusnick Presidente (The Tenth, 1910)		Farmacéutico con Oficina en la Rue de Louvain (Bruselas), no muy conocido públicamente antes de 1903 cuando sus compañeros lo animan a tomar parte activa en la defensa de los intereses farmacéuticos. Funda varias sociedades farmacéuticas y contribuye con artículos a varias revistas farmacéuticas. Presidente de la Federación belga de Uniones profesionales de farmacéuticos y de la Unión de farmacéuticos de Bruselas. Vicepresidente de la Cámara de Comercio Farmacéutica de Bruselas. Vicepresidente de la Sociedad Farmacéutica Nacional Belga.
M.M. Valère Haazen. Vicepresidente (Belgium Bz, n.d.; L’Union Pharmaceutique, 1931)		Natural de Anvers. Farmacéutico muy distinguido con mucha autoridad en las reuniones profesionales de las corporaciones farmacéuticas belgas. Presidente de la Asociación Farmacéutica Nacional y de la Sociedad de Farmacia de Anvers. Secretario de la Comisión Medica local de Anvers. Caballero de la Orden de Leopoldo con estrella de plata. Oficial de la Orden de la Corona, Oficial de la Academia de Francia.
A. Martin. Vicepresidente		Farmacéutico. Presidente de la Asociación farmacéutica general de Bélgica. Presidente de la Comisión Médica provincial de Mons.
Albert Schammelhout (1870-1931). Secretario General (Albert Schammelhout; 1931; Necrologie, 1931; The Tenth, 1910)		Natural de Bruselas. Cursa los estudios de “arts” seguidos por los estudios especializados de farmacia, diploma que consigue en 1891. Unos meses más tarde toma posesión de la farmacia de Vanden Save en “Rue des Minimes”. En 1893 funda la Unión de Farmacéuticos de Bruselas y traslada su farmacia a la “Rue Wattea” y retorna a la Universidad para tomar los cursos de doctorado, obteniendo el grado de doctor en Ciencias Químicas con la máxima distinción en 1895. Funda un laboratorio analítico, especializándose en el trabajo microscópico, bacteriológico y médico. Delegado de la Federación Belga de Sociedades Farmacéuticas en el IX Congreso Internacional de París en el que presenta una comunicación sobre la inspección de farmacias. Químico de la “Maison Central”, un movimiento cooperativo de los farmacéuticos belgas hasta su disolución en 1901. Química de la Sociedad “Electra” fundada en 1897 para el abastecimiento de productos puros a los farmacéuticos. En 1902 mueve su farmacia a la “Rue Malibrán”, en Ixelles uno de los sitios selectos de la periferia de Bruselas. Redactor jefe del Boletín de la Sociedad Real de Bruselas. Director de la 4ª sección de la Sociedad Nacional Farmacéutica. Secretario general de la Sociedad Real de Farmacia de Bruselas. Presidente de la Unión de farmacéuticos de

Congreso	Personalidad	Comentario sobre sus actividades profesionales
		Ixelles. Miembro de la Comisión de la Farmacopea. Experto legal de la Cámara Sindical de Farmacia. Uno de los más brillantes redactores del “Journal de Pharmacie de Belgique” publicando gran número de trabajos, alrededor de doscientos sobre temas científicos y profesionales. Ocupa un lugar importante en la “Fédération Internationale Pharmaceutique”. M.J. Breugelmans, redactor jefe del Journal de Pharmacie de Belgique”, secretario de la Asociación Farmacéutica de Bélgica” declara: “Schammelhout a imprimé beaucoup de sa forte personnalité á la mouvement professionnel de ces 40 dernières années”
XI The Hague 1913	Leopold van Itallie (1866-1952). Presidente (Leyde) (Dillemann, 1991; Eugene-Humbert, 1925; Wikipedia, n.d.)	Natural de Maastricht, de familia judía, fallece en Heelsum (Gelderland, Holanda). Farmacéutico holandés y profesor en la Universidad de Leiden, goza de un gran prestigio en los Países Bajos e internacionalmente. Durante la Segunda Guerra Mundial, él y su esposa, Mien van Itallie-van Embdem, periodista y política, defensora de los derechos de la mujer, estuvieron reclusos en varios campos de concentración, incluido el de Theresienstadt (Teresin, Protectorado de Bohemia y Moravia), y se las arreglaron para sobrevivir. Asiste a la escuela primaria y secundaria (HBS) en Maastricht y estudia en la Universidad de Utrecht (1983). Examen de farmacia (1886). Farmacéutico municipal en Rotterdam. Continúa sus estudios en la Universidad de Berna (1896), donde obtiene (1901) el doctorado: “Sobre el Styrax oriental y americano”. En 1902 comienza a trabajar en la Escuela Nacional de Veterinaria (hoy Facultad de Medicina Veterinaria) de la Universidad de Utrecht. Profesor de Química Farmacéutica y Toxicología (1907) de la Universidad de Leyden cargo que ocupa hasta su jubilación en 1936. Rector de la Universidad de Leiden (1922-23). Director del Instituto Nacional de Investigación Terapéutica (1920) (Instituto Nacional de Investigación de Drogas en la actualidad). Miembro del consejo editorial de “Pharmaceutisch Weekblad”. Miembro honorario (1913) de la “Royal Dutch Pharmacy Promotion Company”, en la que había ocupado varios puestos. Es uno de los impulsores de la Fédération Internationale Pharmaceutique en La Haya en 1912 y presidente desde su fundación hasta 1930, nombrándosele presidente honorario (1930). Caballero de la Orden del León de los Países Bajos (1921) y comandante de la Orden de Orange-Nassau (1927). Premiado por universidades extranjeras y organizaciones farmacéuticas. Membresía honoraria de “Deutsch Apothekersverein” (1933), que rechaza debido a la deposición de judíos en Alemania. Presidente de la “Royal Society for Optional Corpse Burning” durante muchos años, nombrado tras su jubilación (1936) miembro honorario. Doctor Honoris Causa por la Universidad René-Descartes de Paris (2º Candidato de una Facultad de Farmacia que recibe el Premio).
	Dr. H.L. Visser Vicepresidente	Presidente de la 1ª Sección: Cuestiones Generales.
	Prof. Pieter van der Wielen	Natural de Leeuwarden (Frisia), fallece en Baarch (Utrecht). Estudia en la “Faculteit de Wissen Natuurkunde” de la Universidad de

Congreso	Personalidad	Comentario sobre sus actividades profesionales
	(1872-1947). Vicepresidente (Amsterdam) (Album Academicum, n.d.; Huisman, 1996; Huygens Ing, n.d.; Kuk, 1947)	Utrecht. Examen de Farmacéutico (1894). Profesor Extraordinario de Materia Medica (1901 a 1909), sucediendo a WilenStoeder (1831-1902). Catedrático de Preparación Médica de 1919 a1930. A partir de 1919, Van der Wielen utiliza todo el edificio (Laboratorio Galénico con Farmacia Modelo, en Kloveniesburgwal nº 84), bajo el nombre de Laboratorio de Preparación Médica y Farmacia Universitaria. En 1930, su labor docente se incrementa para incluir la química farmacéutica, ampliándose el laboratorio en 1931. Esta materia pasa en 1936 a Cornelia Gerarda van Arkel (1902-1980), primero como conferenciante, y desde 1939 como profesora. En 1946 JanKok (1899-1982) se hace cargo de la galénica y la receta de Van der Wielen. Tras la muerte de Van der Wielen en 1947, Kok es nombrado profesor titular y en 1950 su labor docente se amplía para incluir la bioquímica y la toxicología. Kok se marcha después al laboratorio de química en Nieuwe. Con Nicolas Schoorl, van der Wielen escribe un Comentario sobre la farmacopea Nederlandsche (1927-1929), 5º ed. Presidente de la 2ª Sección del XI Congreso: Farmacia Galénica. Redactor jefe de “Pharmaceutische Weekblad (Amsterdam).
	Prof. Nicolaas Schoorl (1872-1942) Vicepresidente (Utrecht) (Asuero, 2015; Asuero, 2019a; Chemistrytree, n.d.; Huygen Ing, n.d.; Laitinen, 1979; Personaliaenz, 1942; Schoorl, 1942; Van Goor, n.d.; Van Os, 1942; Zwikker, 1942)	Natural de Zaandijk(Zaanstad) fallece enVreeland, gem. Loenen aan de Vecht (Utrecht). Completa la HBS en Zaandam (Holanda Septentrional) y estudia farmacia en la Universidad de Amsterdam (1889). Aprueba el examen de farmacéutico (1893). Asistente de químicafarmacéutica en 1893 con JanWillenGunning (1827-1900) y en 1896 con el químico Cornelius AdriaanLobryvan Troostenburgde Bruyn (1817-1904). Este año aprueba el examen estatal y comienza a estudiar química, concluyendo la Licenciatura (1888), Maestría (1901) y Doctorado “Conexiones de los azúcares con la urea” (1901) “cum laude”con Lobry van de Bruyn (1857-1904) como director.Profesor (1902) de química y microquímica farmacéutica y práctica y ayudante del profesor de química y medicina Lobry de Bruyn. Profesor extraordinario de química farmacéutica y analítica, microquímica y toxicología (1908), con la Conferencia inaugural: “El lugar de la química analítica en la sociedad”. Sucesor ese mismo año en Utrecht de H. WefersBettink (1839-1921)siendo nombrado catedrático de preparación farmacéutica, toxicología, química analítica y microquímica y ciencia de los alimentos, con conferencia inaugural: “La relación entre la farmacia y la educación superior”. Nuevo laboratorio construido entre 1911-1913, no listo hasta 1915 como resultado de la Primera Guerra Mundial condiscursode inauguración: “Bosquejo del desarrollo histórico del análisis químico”. Autoridad en los campos de química farmacéutica, química analítica y microquímica.Sus actividades farmacéuticas se vieron reflejadas en la dirección editorial del “PharmaceuticalWeekbly” (1902-1923). Utiliza sus conocimientos químico-farmacéuticos como miembro y presidente del comité de la “Nederlandsche pharmacopee” (1905). Realiza en la 5ª ed. (1926) un trabajo muy importante. Miembro de la junta general (1907-1909 y 1920-1921) y vicepresidente (1921) de la Nederlandsche Chemische Vereeniging y presidente (1917) del comité del examen de analistas en 1917. Miembro honorario (1938) de la Sociedad Química Holandesa. Destacado analista que practica

Congreso	Personalidad	Comentario sobre sus actividades profesionales
		tanto el aspecto científico como la aplicación práctica en su trabajo. Entre sus discípulos se incluyen D. van Os, profesor de farmacia en Groningen, e Izaak MaurikKolthoff (1894-1992), profesor de química analítica en la Universidad de Minneapolis (MN) y padre de la química analítica. Kolthoff es famoso por el aforismo “la teoría guía, los experimentos deciden”, que adopta de Schoolr. Miembro de la Comisión de la Farmacopea. Miembro de la Comisión del Codex Alimentarius de Utrecht. Presidente de la 3ª Sección del IX Congreso: Química.
	Dr. J. Dekker. Vice-presidente (Haarlen)	Presidente de la 4ª Sección del IX Congreso: Botánica y Materia Médica. Director del Museo Colonial (Haarlem).
	Prof. Hendrik Paulus Wijsman (1862-1916). Vicepresidente (Utrecht) (Album, n.d.; Bijlagen, 1894-1895; Homburg, 2008; p. 197; Prof. Dr. H.P. Wijsman, Schoolr, 1916; Wijsman, 1891)	Natural de Amsterdam fallece en Zeist (Utrecht). Obtiene su doctorado (1889) en química: “Diastase, beschouwd als mengsel van maltase en dextrinase” con Hugo Marie de Vries (1848-1935) y con Jacobus Henricus Van’t Hoff (1852-1911) en la “Faculteit der Wissen Natuurkunde” de la Universidad de Amsterdam. Había sido empleado de “Gist-en Spiritusfabriek” desde 1888, fábrica química y farmacéutica holandesa con sede en Delf, en la provincia de Holanda, en cuyos laboratorios realiza gran parte de su Tesis. Profesor de preparación médica y toxicología en Leiden (1889). Imparte las asignaturas de química farmacéutica, química analítica, toxicología y fitoquímica. Miembro del Comité de redacción del “Nederlandsch Tijdschrift voor Pharmacie, Chemie en Toxicologie”. Presidente de la Comisión del Codex Alimentarius. Secretario del Instituto Colonial de Utrecht. Presidente de la 5ª Sección del IX Congreso: Bromatología.
	J.J. Hofman (1866-1942) Secretario General (La Haya) Deelstra et al., 2014; Hofman, 1912; Hofman, 1914a; Huisman, 1996; Personal and New Items, 1922; Quirke y Slinn, 2009)	Estudia en la Universidad de Leyden. Presidente durante algunos años de la “Dutch Pharmaceutical Society”, y después secretario de la Federación Internacional de Sociedades Farmacéuticas (F.I.P). Dedicó un esfuerzo importante al desarrollo de la posición social del farmacéutico desde las leyes del ministro liberal Johan Rudolph Thorbecke (1798-1872) con motivo del quincuagésimo aniversario del “Pharmaceutisch Weekblad”. Estas cuatro leyes publicadas en 1865 constituyen durante mucho tiempo el marco legal de la atención médica holandesa. En el ámbito de los productos farmacéuticos no se reemplazan hasta 1958. Hofman recrimina a personas entre ellas Jan Willen Gunning (1827-1900) y Willen Stoeder (1831-1902), profesores de química farmacéutica y de preparación de medicamentos en la Universidad de Ámsterdam, respectivamente, por insistir demasiado en el contenido científico y ético del farmacéutico, como resultado de lo cual descuidan según él otros intereses. Stoeder es defensor de las cátedras de Farmacia necesarias en su opinión no solo debido a los grandes avances de la química sino también por ser una continuación lógica de las leyes de 1865 que imponían exigencias científicas al farmacéutico. Hofman propietario de una compañía farmacéutica en La Haya: “saw a bright future for the profession, as long as pharmacists’ were prepared to turn their shops into places where patients could in their scientific expertise”

TABLA 11
PARTICIPACIÓN DE LOS PRINCIPALES PROTAGONISTAS EN LOS DIFERENTES
CONGRESOS

Congresistas/ Congreso	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI
Joseph Ditrich	Pr	Vic	Int		Del	Mh					
StephaneRobinet	Vic	SG	Vic								
Fr. Klinger	Sec		Del								
Arthur Casselmann	Sec	Del									
F. Vorwerk	Sec		Sec								
Bjorklund	Del		Del								
Schroeders	Del	Del									
Giorgino	Del	As	Del								
Margraff	Del										
Theodor Rieckler	Del	Pr									
J. Andres		Vic									
William Procter		Vic									
Louis Mosca	Del	Vic				Mh			As		
Lehmann		Del	Sec								
AngeloPavesi		Del					As				
Wilhelm Dankwortt	Del		Pr								
Julius von Trapp	Del		Vic	Vic							
Anton von Waldheim	Del	Del	Sec	Pr	Del	Mh					
H.P. Madsen				Vic	Del	Mh					
Theophilus Redwood		Del	Del		Pr	Mh					
Michael Carteighe		Del			Sec	Mh	Vic				
Camille Méhu				Sec	Del	Mh					
Francis Sutton				Sec							
Alexandre Poehl					Del				As		
Alexandre van Bastelaar						Pr	As				
Joseph Price Remington							Pr	As			
Oscar Oldberg					Del		SG				
FernanRanwez						As		Pr	As		As
Arthur Petit		As			Del	Mh	As		Pr		
Albert Derneville									As	Pr	
Albert Schammelhout										SG	
L. van Itallie											Pr
Hansen					Del	As			As		
William Martindale							Vic				
StanislaoCannizaro						Del	As				
FernandJadin									Vic		As
CalixteCrinon								Del	Sec		As

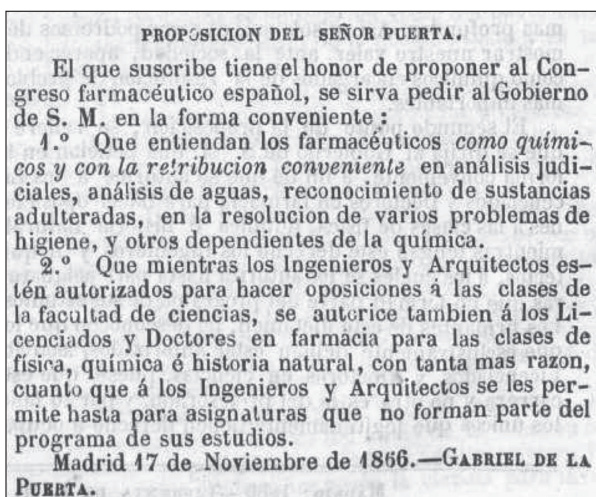
COMENTARIOS FINALES

La Farmacia ha tenido a lo largo de su historia el alma dividida entre la ciencia y la práctica, las dos Comisiones que se contemplaban en la creación de la FIP. El que prime una u otra parte depende de las circunstancias y de la época concreta (Bergman, 1963). Robinet (1866) quizás compendie mejor que nadie la sinergia y fortaleza de esta dualidad integradora, complementaria y no excluyente, en su alocución a la Sociedad de Farmacia de París, tras el primero de los congresos:

“La destination primitive de la Société de pharmacie était donne d’ouvrir une nouvelle voie aux études des sciences et particulièrement de celles dont la pharmacie est une utile application. Pendant soixante-dix ans, Messieurs, la Société n’a pas cessé de démontrer, par les preuves les plus éclatantes, qu’elle n’a pas failli à sa mission. Presque tous les savants qui ont fait faire des progrès réels à la pharmacie ont tenu à s’inscrire sur nos listes, et la plupart des découvertes les plus utiles à l’humanité souffrante son sorties de votre sein”.

A veces los intereses mutuos de la farmacia y de la química son coincidentes, como se muestra en la proposición (Fig. 58), que eleva al Congreso Farmacéutico Español el 17 de noviembre de 1866, Gabriel de la Puerta Ródenas y Magaña, Doctor en Farmacia, y más adelante Catedrático de Química Orgánica, Decano de la Facultad de Farmacia de la Universidad Central de Madrid, y Senador del Reino, que sucede en la presidencia de la Real Sociedad Española de Física y Química a José Echegaray, su primer presidente (Suplemento, 1866).

FIGURA 58
PROPUESTA ELEVADA AL CONGRESO FARMACÉUTICO ESPAÑOL DE NOVIEMBRE DE 1866 POR EL DR. GABRIEL DE LA PUERTA



Química y farmacia, como hemos indicado en la lección inaugural del curso académico 2019-2020 en la Universidad de Sevilla son ego y alter ego (Asuero, 2019a). Científicos de reconocido prestigio se han movido en la línea divisoria de esta interfase tan enriquecedora (Bouvet, 1947; Rocke, 1984; Sáez-Plaza et al., 2018), y también en la interfase que componen la farmacia y las ciencias de la vida (Jaussand, 2010), de tanta repercusión hoy día, con el trasfondo último de la medicina personalizada y de la medicina de precisión. La presencia de boticarios tanto en el antiguo (Martin et al., 2019b) como en el nuevo régimen (Martin et al., 2018a), en la prestigiosa Academia de Ciencias de Francia, es digna de mención, dada la extrema dificultad y la dura competencia que suponía el acceso a uno de los reducidos puestos, tan codiciados, en dicha Institución de élite.

Dumas (1866) directamente en el prólogo del Codex, o indirectamente en el elogio de Balard (Dumas, 1879), se deshace en alabanzas a esta profesión, la farmacéutica, que habría que reinventar, según él, en caso de su no existencia, dada su importancia y necesidad. Farmacéuticos distinguidos han tenido mucho que ver en la creación, funcionamiento y gestión de sociedades científicas (Homburg, 2008; Van Tiggelen, 2008; van Tiggelen, 2012); la Real Sociedad Española de Física y Química (Asuero y Martin, 2015; Martin et al., 2018) o la Royal Society of Chemistry (Asuero, 2019b; Martin et al., 2018a) constituyen tan solo ejemplos significativos. El aspecto científico es lo que aporta a una profesión un halo de trascendencia (von Mueller, 1875-76), y en definitiva, de inmortalidad (Paul, 1980).

Una ojeada a fondo de la información contenida en la Tabla 10 nos sitúa en su justo contexto, sin necesidad de caer en la tentación de emitir un juicio propio. La química farmacéutica alcanza un nivel muy elevado a lo largo del siglo XIX. Es una de las razones por las que la posición subordinada del farmacéutico al médico ha de concluir (Hofman, 1914; Huisman, 1996; Quirke y Slim, 2009). El punto de vista farmacéutico complementa al médico, al tener su propia identidad científica y ser capaz de satisfacer necesidades sociales específicas. En este último supuesto no solo se incluye la preparación y dispensación de medicamentos, sino también la realización de investigaciones y el suministro de información en el campo de la química forense, la higiene, la toxicología y los alimentos. El farmacéutico puede, además, examinar las preparaciones industriales para determinar su pureza y servir al gobierno como un asesor de pleno derecho.

El farmacéutico moderno podía percibir (Hofman, 1914; Huisman, 1996; Quirke y Slinn, 2009): “una búsqueda del bien, lo bello, lo verdadero”, en pro de la salvación de la humanidad”.

Resta por contar la segunda parte de esta historia, que abarca el periodo que oscila entre la creación de la FIP y el presente, donde se pasará revista a la estructura de la FIP, objetivos y logros. El año 2020 estaba previsto celebrar el Congreso Mundial de la FIP en la Ciudad de Sevilla. La pandemia de COVID-19 obligó a posponerlo primero a 2021 y, más adelante, a 2022. Mientras tanto, estamos recopilando información con objeto de realizar, en esta línea, una nueva aportación.

Por último, debo dar las gracias a todos los presentes por su atención. Muchas gracias a la Real Academia Sevillana de Ciencias por contar un año más con mi concurso

para este Ciclo de Historia y Filosofía de la Ciencia, que organiza juntamente con la Facultad de Química de la Universidad de Sevilla, y por haberme permitido contar esta historia, fruto de la humana determinación. Gracias a la Academia de Ciencias Farmacéuticas de Brasil, que se ha interesado también por este tema, habiéndome invitado a pronunciar una conferencia sobre la FIP, el pasado 29 de marzo de 2021.

La presencia de los farmacéuticos españoles en los congresos internacionales de Farmacia será objeto de una próxima publicación.

He dicho.

REFERENCIAS

- 12HRS IN COPENHAGEN. Going out 9 p.m. Copenhagen cocktail hour. Lidkeb; <https://guides.12hrs.net/guides/12hrs-in-copenhagen>
- A DEAD CESAR, Deaths Brunengraeber, A Brunnengräber Memorial. The chemist and druggist 42, 301, 307, 675 (1893).
- ACADEMIE de Sciences et Lettres de Montpellier, Fernand Jadin (28-11-1862/22-2-1944); https://www.ac-sciences-lettres-montpellier.fr/academie/membres/biographie/181_JADIN-Fernand
- ACADEMIE ROYALE de Médecine de Belgique, Camille Méhu 1835-1887; <http://www.armb.be/index.php?id=3724>
- ACADEMIE ROYALE de Médecine de Belgique, Desiré van Bastelaer (Alexandre Henri) 1823-1868; <http://www.armb.be/index.php?id=5081>
- ACADEMIE ROYALE de Médecine de Belgique, Ernest van de Vyvere 1811-1853; <http://www.armb.be/index.php?id=5134>
- ACADEMIE ROYALE de Médecine de Belgique, Fernand Ranwez 81866-1925) Pharmacie-chimie; <http://www.armb.be/index.php?id=4461>
- ACADEMIE ROYALE de Medicine de Belgique, (Theodore Henri) Maurice Belval (1832-1897); <http://www.armb.be/index.php?id=1764>
- AINLEY, W., William Martindale (1840-1902) and Ford Madox Ford (1873-1939); <https://www.yumpu.com/en/document/view/9627118/william-martindale-1840-1902-and-ford-madox-ford-1873-1939>
- ALBERT SCHUMELHOUT, Bulletin de Sciences Pharmacologiques 38, 44 (1931); The chemist and druggist 150 (1931); Journal de pharmacie et de chimie 367 (1931); L'Union Pharmaceutique 72(2), 96 (1931).
- ALBUM ACADEMICUM der Kaiserlichen Universität Dorpat 1867, Drug und Verlag von Heinrich Laafmann : Dörptat, 1867.
- ALBUM ACADEMICUM, University of Amsterdam, Professors and PhD Graduates from 1632 to this day. H.P. Wijsman 1862-1916, Doctor, Student; <http://www.albumacademicum.uva.nl/cgi/bib/bib-idx?c=ap;lang=en;type=boolean;date61=1889;date62=1889;searchtype=phd;q1=id%2A;rgn1=id;cc=ap;view=reslist;sort=achternaam;fmt=long;page=reslist;size=1;start=17>
- ALBUM ACADEMICUM, University of Amsterdam, Professors and PhD Graduates from 1632 to this day. Prof. P. van der Wielen, 1872-1937; <http://www.latijnnederlands.be/cgi/bib/bib-idx?c=ap;size=1;type=boolean;date31=1901;date32=1901;q1=id%2A;rgn1=id;cc=ap;view=reslist;sort=achternaam;fmt=long;page=reslist;start=7;lang=en>
- ALLGEMEINE pharmaceutische Angelegenheiten zur Pharmacopöeagermanica. Zeitschrift des allgemeinen Oesterreichischen Apotheker-Vereines 17, 38-40 (1863).
- AMERICAN NATIONAL BIOGRAPHY, Procter, William, Jr. (03 May 1817-09 February 1874); <https://www.anb.org/view/10.1093/anb/9780198606697.001.0001/anb-9780198606697-e-1200745>

- AN AMERICAN EDUCATIONIST, *American Druggist and Pharmaceutical Records* 26, 106 (1985), *The Chemist and Druggist* 46, 114 (1985).
- ANON, *Apothéose de Pelletier et Caventou. Glorification de la Pharmacie. L'Union Pharmaceutique* 41, 337-345, 385-391 (1900).
- ANON, *Charlatanisme pharmaceutique. Journal de Chimie Médicale* 2, 660-663 (1866).
- ANON, *International Congress of Pharmacy. The chemist and druggist* June 30, 970-973 (1923).
- APhA, *Fourth International Pharmaceutical Congress. American Journal of Pharmacy* 1874, 16 (4^a Series, 4), 488-489.
- APhA, *The International Pharmaceutical Congress, Chicago, United States, August 21, 1893. Preliminary announcement. Proceedings of the American Pharmaceutical Association at the Forty-First Annual Meeting, Chicago, 1893*, 57-60.
- APhA, *William Procter, Jr. celebration*; <https://www.pharmacist.com/CEOBlog/william-procter-jr-celebration>
- APOTHEKERFORENINGENS Tidende. *Archiv for Pharmaciogtechnisk Chemi* 29, 334-350 (1875).
- ASTRO DATABANK, *Ranwez, Fernand*; https://www.astro.com/astro-databank/Ranwez,_Fernand
- ASUERO, A.G., *El principio de autoridad: ejemplos extraídos en el ámbito de la química. Memorias de la Real Academia Sevillana de Ciencias* 18, 227-243 (2015).
- ASUERO, A.G., *Los halógenos ¿materia mineral farmacéutica? Anales de la Real Academia Nacional de Farmacia* 74, 51-64 (2008).
- ASUERO, A.G., *Química (Analítica) y Principio de Autoridad: Anotaciones, Historias y Anécdotas. Lección Inaugural leída en la Solemne Apertura del Curso Académico 2019-2020 en la Universidad de Sevilla, Editorial Universidad de Sevilla: Sevilla, 2019a.*
- ASUERO, A.G., *Royal Society of Chemistry y Royal Pharmaceutical Society. Memorias de la Real Academia Sevillana de Ciencias* 22, 105-178 (2019b).
- ASUERO, A.G., MARTIN, J., *De los químicos de ciencia y los de farmacia. Memorias de la Real Sociedad Sevillana de Ciencias* 18, 245-260 (2015).
- ATTFIELD, J., *Joseph Remington. American Journal of Pharmaceutical Association* 1(5), 490-493 (1912).
- BALLAND, A. *Les pharmaciens militaires français, L. Fournier, 1913.*
- BARTOMEU, D., *Congreso Internacional de Farmacia Bruselas. El Restaurador Farmacéutico* 12-13 (1910).
- BASKERVILLE, C., *International Congresses. Science* 1910, 32 (828), 652-659.
- BELGIUM BZ *Plaqueette Pharmacy, V. Haazen by Alf Mauquoy 1922*; <https://coins.www.collectors-society.com/wcm/coinview.aspx?sc=334400>
- BERMAN, A., *Conflict and anomaly in the scientific orientation of French pharmacy 1800-1873. Bulletin of the history of medicine* 37(5), 440-462 (1963).
- BETTS, J., HO, S., *Martindale: from abrus to zotarolimus – 130 years of pharmacy knowledge. The Pharmaceutical Journal* 17 July 2013.
- BJÖRKLUND, G.A., *Letter from the Secretary of the Pharmaceutical Society of St. Petersburg May 16, 1865, regarding an International Pharmaceutical Congress. American Journal of Pharmacy* 14, 417 (1865); *Proceedings of the American Pharmaceutical Association at the thirteen annual meeting* p. 47 (1865).
- BLEY, L.F., *General-Catalogund Signaturen für Apotheken. Archiv der Pharmacie* 5, 123-124 (1855).
- BLEY, L.F., *Taschenbuch für Aerzte, Chemiker und Badereisende, die Bestandteile und physischen Eigenschaften der vorzüglicheren Mineralquellen Deutschlands, der Schweiz und angränzenden Länder nach den neuesten und besten Analysen derselben enthaltend. Mit einem Vorwort von Dr. J.B. Tromsdorff, Leipzig, 1831.*
- BLEY, L.F., GEISELER, TH., *Sollen die Pharmakopöen für deutsche Staaten in deutscher oder lateinischer Sprache. Hofbuchdruckerie der Jänecke: Hannover, 1860.*

- BLEY, RIECKHER, GEISELER, Programm zu dem in September 1865 zu Braunschweig abzuhalten- den internationalen Congresse. Vierteljahresschrift für Praktische Pharmacie 14, 473-475 (1865). BnF Data, Camille Méhu (1835-1887); https://data.bnf.fr/fr/16626323/camille_mehu/
- BnF Data, Désiré Alexandre Henri van Bastelaer (1823-1907). Oewres (88 ressources dans data bnf. fr); https://data.bnf.fr/fr/10707192/desire_alexandre_henri_van_bastelaer/
- BnF Data, Rodolphe Kaepelin (1810-1891); https://data.bnf.fr/fr/10502826/rodolphe_kaepelin/
- BOBY, W., Journal of the American Water Works Association 23(2), 283-284 (1931).
- BONNEMAIN, B., Le Journal de pharmacie et chimie en 1910. Revue d'histoire de la pharmacie 97 (3), 207-216 (2010).
- BONNEMAIN, B., Le Journal de pharmacie et de chimie en 1912, ou un siècle plus tard; Revue d'histoire de la pharmacie 99(374), 190-196 (2012).
- BONNEMAIN, H., La Faculté de Pharmacie de Paris depuis cent ans avenue de l'observatoire. Journée commémorative du 1er février 1982. Revue d'histoire de la pharmacie 70 (252), 39-48 (1982).
- BOSMAN-JELGERSMA, H.A., The Netherlands: birthplace of FIP. Pharmaceutische Weekblad 122, 747-751 (1987).
- BOUVET, M., A propos d'un article récent: Berthollet, Fourcroy, J-B. Dumas et Würtzétaient-ils pharmaciens ? Revue d'histoire de la pharmacie 35(117), 147-152 (1947).
- BOURGUELOT, E., Le centenaire du journal de pharmacie et de chimie. Journal de pharmacie et de chimie 101 (1910).
- BRANTS, C., FLEBAN, FR., PLOY, C., VOIGHT, J., ZINTL, J., FLINGER, Fr. (Ed.), Entwurf einer Apotheken-Ordnung für den österreichischen Kaiserstadt, Im Verlage des allgemeinen österreichischen Apotheker-Vereines: Wien, 1864, 37 pp.
- BRITISH PHARMACEUTICAL Conference, Report of the Executive Committee. Year-Book of Pharmacy, August 1894, p. 340; The Pharmaceutical Journal and Transactions 25, 92-93 (1895).
- BRUYLANTS, A. Gustave Bruylants, Fernand Ranwez et leur école de pharmacie à l'Université de Louvain (1875-1925) in Figures de professeurs de pharmacie à l'Université de Louvain, Cabey, Louvain-la-Neuve, 1985, pp 97-138.
- BUCHET, C., M. Derneville (Albert-Jules-Chislain). L'Union Pharmaceutique 31 Janvier, 79-80 (1911).
- BUIGNET, Éloge de G. Guibourt prononcé à la séance Solennelle de l'École et de la Société de Pharmacie le 15 Novembre 1871. Journal de Pharmacie et de Chimie 15, 69-86 (1872) ; Imprimerie Cusset et Cie, Paris, 1872, pp 5-21.
- BULLETIN DU MINISTÈRE du Travail 26, 743 (1912).
- BURNS, D.T., DEELSTRA, H. Origins of the creation of the International Pharmaceutical Federation in 1912: The Centenary. Microchimica Acta 2012, 178, 29-35.
- BURNS, D.T., DEELSTRA, H., The origins and impact of the International Congresses of Applied Chemistry, 1894-1912. Microchimica Acta 2011, 172, 277-283.
- BURNS, D.T., MÜLLER, R.K., SALZER, R., WERNER, G., Important figures in analytical chemistry from Germany: from the middle ages to the nineteenth Century, Verlag: Cham, 2014.
- BURY, J.B., Atlas of the Historical Geography of Europe, 3th ed., J.B. Bury M.A., D. Litt, LLD, Longmans, Green and Co.: London, 1913.
- BZOURA, É., Le patrimoine de la Faculté de Pharmacie de l'Université Paris V. Revue d'histoire de la pharmacie 86 (316), 238-250 (1998).
- C.&D., French News (M. Calixte Crinon). The chemist and druggist 110, 464 (1929).
- CAMBA, F., MAS Y PI, J., Los españoles en el centenario argentino, Mestres, 1910.
- CARNOY, H., Dictionnaire biographique international des médecins et chirurgiens, Imprimerie de l'armorial français : Paris, 1903.
- CATALOGOUS PROFESSORUM, AcademiaeRhenotraiectinae. Professoren van de Universiteit Utrecht sinds 1636, Pr. Dr. H. WefersBetting (1839-1921); <https://profs.library.uu.nl/index.php/profrec/getprofdata/2316/81/85/0>

- CATALOGUE des Thèses soutenues devant l'École Supérieure de pharmacie de Paris. Journal de pharmacie et de chimie 21, 445-448 (1890); 21, 510-514 (1890); 21, 581-582 (1890); 21, 629-631 (1890); 21, 673-677 (1890); 22, 46-48 (1890).
- CATTELAINE, E., L'opinion de Jean-Baptiste Dumas sur la pharmacie et les pharmaciens. Revue d'Histoire de la Pharmacie 42 (141), 277-278 (1954).
- CENTENAIRE de l'École Supérieure de Pharmacie de l'Université de Paris 1803-1903, Volume commémoratif, justification du tirage 7 exemplaires sur papier Japon numérotés de I à VII ; 100 exemplaires sur papier Hollande numérotés de 1 à 100, A. Joanin et Cie, Éditeurs : Paris, 1903.
- CHARLOT, C., Les débuts de l'École spéciale de pharmacie de Montpellier. Revue d'histoire de la pharmacie 91 (339), 427-438 (2003).
- CHEMISTRY TREE, Nicolaas Schoorl; <https://academictree.org/chemistry/publications.php?pid=51082>
- CHEREAU, A., La parnasse médical français, Dictionnaire de Médecins-Poètes de la France, Adrien Delahaye: Paris, 1874.
- CHG CHEMIE Historische Group, Arkel, C. G. van; <https://chg.kncv.nl/geschiedenis/biografieen/a/arkel%2C-c.g.-van>
- CHEVALIER, ROBINET, Notice historique sur N.L. Vauquelin, Société de Pharmacie: séance publique tenue le 21 avril 1830 en commémoration de Vauquelin. Impr. De Fain: Paris, 1830.
- CIGNOLI, F., Farmacopea Internacional. El Restaurador Farmacéutico 86(12), 322-327 (1931); 86(14), 378-385 (1931).
- CINQUANTIÈME Anniversaire de la Société Royale de Bruxelles. Congrès National de Pharmacie. Bulletin de la Société Royale de Bruxelles 39(3), 65-73 (1895).
- CINQUIÈME CONGRÈS International de Pharmacie les 1-4 Aout 1881, tenu à Londres. Journal de pharmacie et de chimie 3, 285-298 (1881).
- COMMUNICATION FROM GERMANY. Pharmaceutical Journal and Transactions 7, 92-94 (1865-66); 7, 217-218 (1865-66).
- COMPLIMENTARY BANQUET in honour of the visitors to the Fifth International Pharmaceutical Congress. Pharmaceutical Journal and Transactions 12, 101-104 (1881-82).
- CONGRÈS DE PHARMACIE de Rennes. Répertoire de Pharmacie 22, 53-55 (1865-1866).
- CONGRES INTERNATIONAL D'assistance Tenu du 28 juillet au 4 août 1889. Tome Premier, G. Rongier & Éditeurs : Paris, 1889, p XX, 492, 597.
- CONGRESO INTERNACIONAL de Farmacia. Bruselas 1910. Del 1º al 5 de septiembre. El Restaurador Farmacéutico 9-11 (1910).
- CONGRESO INTERNACIONAL de Farmacia de Bruselas. La Farmacia Española 42(41) 645-646 (1910).
- CONGRESO INTERNACIONAL de Farmacéuticos de S. Petersburgo. Semanario Farmacéutico 3(1) 8, Madrid 4 de octubre de 1874; 3(11) 96, Madrid 15 de diciembre 1874.
- CONGRESO INTERNACIONAL Farmacéutico. Chicago 1993. La Farmacia Española 25(21) 321-326.
- CONGRES PHARMACEUTIQUE International de 1869. Journal de Pharmacie et de Chimie 9, 303-304 (1869).
- CONGRESS PHARMACEUTIQUE International de Brunswick (Extrait du Bulletin de la Société de pharmacie de Bruxelles). Journal de Chimie Médicale 2, 140-145 (1866).
- CONGRÈS INTERNATIONAL de Pharmacie. L'Union Pharmaceutique 53, 60-61 (1912).
- COPIN, J., Un précurseur de la Société d'histoire de la pharmacie, le pharmacien= archéologue Désiré=Alexandre=Henri Van Bastelaer. Cercle Benelux d'Histoire de la Pharmacie, Bulletin 27, Octobre 1961, pp 3-7.
- CRESPADI WIKIDIEEST, Louis (Ludovicu) Cornelis; [http://wikidiest.be/CORNELIS_Louis_\(Ludovicu\)](http://wikidiest.be/CORNELIS_Louis_(Ludovicu))

- CRINON, C., PLANCHON, G., IX^E Congrès International de Pharmacie (Paris 1900). Ministère du Commerce, Exposition Universelle de 1900, Congrès Internationaux. Carta dirigida 1er décembre 1989.
- CRINON, C., PLANCHON, G., IX^E Congrès International de Pharmacie (Paris 1900). Bulletin des Sciences pharmacologiques 2, 118-119, 234-241, 347-350 (1899-1900).
- DAS COMITÉ, Congress françaisischer Apotheker in Strassburg. Neues Jahrbuch für Pharmacie 22, 126 (1864).
- DAS ORGANISATIONS-COMITE 2. Einladung an zum sämtlichepharmaceutischen Vereine und Gesellschaften. 4. Internationalen Congress in St. Petersburg. Neues Repertorium für pharmacie 23, 315-320 (1874).
- DE PREE, P.A., JOUSTRA, U.S.F., De betekenis van D. van Voor het bedrijfslevens in de provincie Groningen. Pharmaceutische Weekblad 85 (39-40), 711-714 (1950).
- DEELSTRA, H., Bijdragen van de Belgische apothekers tot het wetenschappelijk onderzoek rond de eeuwwende. ScientarumHistoria 26(1-2), 97-108 (2000).
- DEELSTRA, H., De Internationale Farmaceutische Congressen de oprichting van de FIP in 1912, 100 jaar gleden, Farmaleuven Info 2013, 36(1), 9-22.
- DEELSTRA, H., De toxicologie in de opleiding tot apotheker in België (1). Bulletin - Kring Voor de Geschiedenis van de Pharmacie in Benelux – Cercle Benelux d'Histoire de la Pharmacie 59 (117), 13- 27 (2009).
- DEELSTRA, H., BURNS, D.T., WALKER, M.J., The adulteration of food, lesson from the past with reference to butter, margarine and fraud. European Food Research and Technology 239, 725-744 (2014).
- DER DRITTE internationale Congress des pharmaceutischen Gesellschaften und Vereine in Wien. Pharmaceutische Post. Zeitschrift Für die Gesamtinteressen der Pharmacie 2, 345-349 (1869).
- DESVIGNES, VIAUD, LANGRAND, Chronique. Congrès International de Pharmacie de 1900. Procès-Verbaux des Séances de la Commission d'organisation. Séance du 12 juillet 1899. L'Union Pharmaceutique 41, 26-29 (1900).
- DEUTSCHE APOTHEKER Zeitung, Thüringen, ein historisches Zentrum innovativer Pharmazie ;<https://www.deutsche-apotheker-zeitung.de/daz-az/2006/daz-21-2006/uid-15948>
- DEUTSCHE BIOGRAPHIE, Trapp, Julius von (1814-1908); <https://www.deutsche-biographie.de/pnd117422401.html>
- DIE GEHCIMMITTEL in Russland. Neues Jahrbuch für Pharmacie 25, 50-56 (1866).
- DIE VIERTE General-Versammlung des allg. Öesterr. Apotheker-Vereines. Zeitschrift des allgemeinen Österreichischen Apotheker-Vereines 2, 365-369 (1864).
- DILLEMANN, G. Les docteurs honoris causa de l'Université René-Descartes présentés par la Faculté de Pharmacie de Paris. Revue d'histoire de la pharmacie 79 (290) 283-288 (1991).
- DILLEMANN, G., Les médailles, récompenses des étudiants en pharmacie lauréat aux concours des prix. 3e partie : Les prix de l'École supérieure de Pharmacie de Paris (1841-1920). Revue d'histoire de la pharmacie 73(266), 240-25 (1985).
- DISTRIBUTION DES PRIX de l'École de Pharmacie de Paris. Journal de pharmacie et de chimie 3, 47-48 (1843).
- DITTRICH, J., Die Pharmacognostische Sammlung des Apothekers Josef Dittrich in Prag, Nr. 219 - III: Ausgestellt zur Feier der 3. General-Versammlung des allgem. Oesterreich. Apotheker-Vereines am 1. u. 2. Sept. 1863 in Prag. (Verzeichniss einer Anzahl von Drogen aus dieser Sammlung.)
- DITTRICH, J., BLEY, L.F., BJÖRKLUND, RIECKHER, SCHRÖDERS, CASSELMAN, A., KLINGER, F., VORWEK, F., Protocole des internationalen Congresses von Deputirten europäischer Apotheker-Vereine in Braunschweig. NeuwsJahrbuch für Pharmacie 24, 148-160 (1865).
- DOHME, A.R.L., HENRY, S.C., STOFER, R.G., WALLACE, J.C., HOLLIDAY, F.E., Joseph Price Remington. American Journal of Pharmaceutical Association 7(1), 203 (1918).

- DORVEAUX, P., Vauquelin fut-il membre de l'Académie Royale des Sciences ? *Revue d'histoire de la pharmacie* 20(78), 57-60 (1932).
- DR. GUSTAV A. BJÖRKLUND, *Chemiker-Zeitung* 10(7), 102 (1886).
- DRITTEN internationalen Kongresse pharmazeutischer Vereine und Gesellschaften Apotheker-Vereines. *Zeitschrift des allgemeinen österreichischen* 7, 29-32 (1869).
- DRITTER INTERNATIONALER pharmaceutischer Congress in Wien. *Protocoll der am 9. September stattgehabten 1. Sitzung. Neues Jahrbuch für Pharmacie* 32, 1841-88 (1869) ; 2. Sitzung 32, 188-192 (1869).
- DUMAS, J.B., Éloge de M. Antoine-Jérôme Balard. *Mémoires de l'Académie des Sciences de L'Institut de France* 1879, 41: LV-LXXX.
- DUMAS, Préface, en "Codex Medicamentarius, Pharmacopée Française rédigée par ordre du Gouvernement, J.B. Bailliere et fils, Pars, 1866, pp XII-XIII.
- D.H., The late professor Guibourt. *The Pharmaceutical Journal* 9, 205-206 (1867).
- EDITORIAL, Eight International Pharmaceutical Congress. *American Journal of Pharmacy* 69, 161 (1987).
- EDITORIAL, The future Editor of the Bulletin. *Bulletin of Pharmacy* 8 (12), 529-530 (1894).
- EDITORIELL, Die bisherigen Beziehungen der American Pharmaceutical Association zu europäischen Fachvereinen und den internationale pharmaceutischen Congressen. *Pharmaceutische Rundschau* 11(5), 101-108 (1893).
- EIGHT INTERNATIONAL Pharmaceutical Congress. *American Journal of Pharmacy* 69, 464-466 (1897).
- EINLADUNG zum dritten internationalen Congress pharmaceutischer Vereine und Gesellschaften. *Neues Jahrbuch für Pharmacie* 32, 126-128 (1869); *Vierteljahresschrift für Praktische Pharmacie* 28, 324-327 (1869).
- EL CONGRESO INTERNACIONAL farmacéutico de Bruselas. *Semanario Farmacéutico* 12 (52), 441-442 (1885).
- EL VII CONGRESO Internacional Farmacéutico de Milán. *Semanario Farmacéutico* 17 (46), 377-379 (1889); 17(47) 385-390 (1889).
- ELEVEN International Pharmaceutical Congress. *American Journal of Pharmacy* 85, 84-96, 562-563 (1913).
- ELFDE INTERNAT. Congres voor Pharmacie. *Chemisch Weekblad* 10(39) 842-869 (1913); 10(40), 876-882 (1913).
- EN MEMOIRE de Désiré-Alexandre-Henri Van Bastelaer. *Discours prononcés aux funérailles de Désiré-Alexandre Van Bastelaer Le 20 Mars 1907. Imprimerie J.-E. Buschmann : Anvers, 1907.*
- EXTRAIT DU PROCES-VERBAL De la Séance de la Société de pharmacie de Paris du 7 ars 1886. *Journal de pharmacie et de chimie* 3, 293-299 (1866).
- FABER, J., Report of the delegate to the third International Pharmaceutical Congress. *Proceedings of the American Pharmaceutical Association at the Seventeenth Annual Meeting hold in Chicago, ILL., September 1869, pp 349-354 (1869).*
- FABRE, Notice nécrologique sur M. Ferdinand Jadin. *Bulletin de l'Académie de médecine* 128, 290 (1944).
- FERRAND, E., Les délégués français au Congrès de Londres. *L'Union Pharmaceutique* 465-466 (1881).
- FERRARI, C., Carta de 26 de Agosto dirigida desde Paris al Sr. D. Quintín Chiarlone en relación con el II Congreso Internacional de Farmacia Paris 1867. *El Restaurador Farmacéutico* 23, 566-567 (1867).
- FERRARI, C., IÑIGUEZ, F., DEL CERRO, K., LOPEZ-DUEÑAS, I., Carta de 21 de agosto dirigida desde Paris a los Sres. D. Quintín Chiarlone y D. German Martínez en relación con el Congreso Internacional de Farmacia Paris 1867. *El Restaurador Farmacéutico* 23, 565-566 (1867).

- FIFTH INTERNATIONAL Pharmaceutical Congress. *The International Journal and Transactions* 12, 108-109; 109-135 (1881-82).
- FIGUROVSKI, N., Lovits (Lowitz), Johan Tobias, En *Dictionary of Scientific Biography*. Vol VIII, Gillispie CC (Ed.). New York: Charles Scribner's Sons 1973: pp. 519-20.
- FIGUROVSKI, N.A., *Leben und Werk des Chemischen Tobias Lowitz (1757-1804)*, Academie Verlag: Berlin, 1859.
- FIP, FIP awards; <https://www.fip.org/awards>
- FIP, The early history of FIP, FIP Facts – Pharmacy in the 21st Century, International Systems and Communicating Limited (ISC) and International Pharmaceutical Federation, London and The Hague, 2000, pp 10-13.
- FISCHER, E., Dr. Christian Brunnegräber. *Berichte der Deutschen chemischen Gesellschaft* 26(1) 395 (1893)
- FLAHAUT, J., Charles Buchet (1848-1933) père de la Société d'Histoire de la Pharmacie. *Revue d'histoire de la pharmacie* 51 (340), 591-602 (2003).
- FLANNERY, M.A., Building a retrospective collection in pharmacy: a brief history of the literature with some considerations for U.S. health science library professionals. *Bulletin of the Medical Library Association* 89(2), 212-221 (2001).
- FOMU Foto Museum, Directory of Belgian Photographers. Ranwez, Fernand; <https://fomu.atomis.be/index.php/ranwez-fernand;isaar>
- FORRESR, J., The metric system. *The medical News* 61, 472-473 (1892).
- FOSTER, J.F., Michael Carteighe (1841-1910), President of the Pharmaceutical Society (1882-1896), Royal Pharmaceutical Society Museum; <https://artuk.org/discover/artworks/michael-carteighe-18411910-president-of-the-pharmaceutical-society-18821896-89244>
- FOUR INTERNATIONAL Pharmaceutical Congress. *American Journal of Pharmacy* 4, 142, 205, 302, 488-489 (1874).
- FRANCÉS CAUSAPÉ, M.C., Justus von Liebig: un docente de química orgánica y su influencia en la farmacia española. *Anales de la Real Academia Nacional de Farmacia* 64(4), 5-20 (2003).
- FREDERKING, C., *Grundzüge der Geschichte der Pharmacie und derjenigen Zweige der Naturwissenschaft. XIII Aerzte, Apotheker und Naturforscher die im 19. Jahrhundert geboren wurden, bis auf die neueste Zeit. A) Apotheker und Aerzte im 19. Jahrhundert geboren*, Vandenhoeck&Ruprech's Verlag: Göttingen, 1874, pp 234-263.
- FRIEDRICH, C., Pharmacist in German Cultural History. *Anales de la Real Academia Nacional de Farmacia* 80(3), 600-613 (2014).
- FRUTON, J.S., The Liebig Research Group: a reappraisal. *Proceeding of the American Philosophical Society* 132(1), 1-66 (1988). Appendix 1. The Liebig Research Group (c.a. 1830-1850), p. 57.
- F.N.S., Francis Sutton. Born February 19th 1831; Died April 16th 1917. *Journal Chemical Society Transactions* 113, 350-353 (1918).
- GANE, E.H., William Martindale – Pharmacist. *American Journal of Pharmacy* 74, 397 (1902).
- GARCIA DE MADARIAGA, J.G., *Catálogo de Antiguas Farmacias de Madrid*. Trabajo de Fin de Grado (Tutor Antonio Luis Doadrio Villarejo), Facultad de Farmacia, Universidad Complutense, p. 16.
- GARIN, A.N., FORSTER, G.W., Effect of Soil Erosion on the Costs of Public Water Supply In the North Carolina Piedmont, Economic Research Division SCS-EC-1, 1940, p.59.
- GEISELER, T., I. Biographie. Ludwig Franz Bley. *Archiv der Pharmacie* 18, 1-15 (1868).
- GENEVOIX, Em., Le VI Congrès pharmaceutique international à Bruxelles. *L'Union Pharmaceutique* 435-442 (1885).
- GILLE N., Notice biographique et nécrologique sur M. Louis-Joseph Cornelis. En *Gazette van Diest*, jg. 24, No. 74, 14 de septembre de 1887.
- GIORGINO, KAMPMANN fils, Matériaux pour une flore cryptogame de l'Alsace. *Bulletin de la Société d'Histoire Natural de Colmar* 1865, 34 pp.

- GREENISH, H.G., Rise and Progress of Pharmacy in Russia. *Pharmaceutical Journal and Transactions* 12, 606-609 (1881-82).
- GREENISH, H.G. (Trad.), *Plant Analysis de G. Dragendorff*, traducido del alemán, London, 1884.
- GREENISH, SUTTON, The Congress at St. Petersburg. *Pharmaceutical Journal and Transactions* 5, 285-287 (1874).
- GRIFFITH, I., Joseph Price Remington 1847-1918. *Journal of American Pharmaceutical Association* 20(4), 366-368 (1931).
- GUIBOUT, Observations sur les poids médicaux européens comparés au poids métrique. Lu à la Séance de rentrée de l'École de pharmacie. *Journal de Pharmacie et de Chimie* 2, 425-444 (1865).
- GUITARD, E.H., Calixte Crinon. *Bulletin de la Société d'histoire de la pharmacie* 17(62), 739-740 (1979).
- GUITARD, E.H., SEGERS ; E., II. A. Bruxelles (« Fédération Internationale Pharmaceutique »). En *Revue d'histoire de la pharmacie* 46 (158), 394-398 (1958).
- GUSTAVE PLANCHON, *Journal de pharmacie et de chimie* 11, 405-427 (1900).
- HAMPshire, C.H., Professor van Os and the International Pharmacopeia. *Pharmaceutische Weekblad* 85 (39-40), 710-711 (1950).
- HANCOCK, J.F., CASPARI, C., DOHME, A.R.L., et al. Report of the Committee of the William Procter Jr. Monument fund. *Journal of the American Pharmaceutical Association* 3 (9), 1267-1269 (1914).
- HAVELANGE, O., HUGUET, F., LEBEDEFF-CHOPPIN, B., Planchon François Gustave. En *Les inspecteurs généraux de l'Instruction publique. Dictionnaire biographique 1802-1914*. Paris : Institut national de recherche pédagogique, 1986. pp. 554-555 (Histoire biographique de l'enseignement, 11).
- HIGBY, G.J., *In service to American Pharmacy: The Professional Life of William Procter Jr.*, University of Alabama Press, 1992.
- HILLS, W., Michael Carteighe. Born 1841, Died May 30th, 1910. *Journal of the Chemical Society, Transactions* 99, 602-603 (1911).
- HIMMELMANN, C., Unterscheidung des Arsens von Antimon. *Zeitschrift für analytische Chemie* 7, 477 (1868).
- HOFFMANN, Fr., In Memoriam. Dr. Christian Brunnengraber. *Pharmaceutische Rundschau* 11, 96-97 (1893).
- HOFFMANN, Fr., The International Pharmaceutical Congresses. *The American Journal of Pharmacy* 73, 315-325; 373-383; 431-446 (1901).
- HOFFMANN, Fr., POWER, F.B., *A Manual of Chemical Analysis as applied to the examination of medicinal chemicals*, Henry C. Lea's Son Co.: Philadelphia, 1883.
- HOFMAN, J.J., De maatschappelijke positie der apotheker voor 50 jaar en thans. *Pharmaceutisch Weekblad* 51, 325-335 (1914a).
- HOFMAN, J.J., International Cooperation in Pharmacy. Consideration of the need for preparing international standards for widely used drugs. *Journal of the American Pharmaceutical Association* 1, 1129-1135 (1912).
- HOFMAN, J.J., La fédération pharmaceutique internationale. Son but. Ses aspirations. *La Vie Internationale*. Bruxelles V, 312-318 (1914b).
- HOLLMAN, C.E.M., Dr. Robertus, Jacobus, Leonardus Schoepp initiatiefnemer tot de oprichting van de Fédération Internationale Pharmaceutique. *Pharmaceutisch Weekblad* 101, 167-173 (1966); *Cercle Benelux d'Histoire de la Pharmacie, Bulletin No. 36, Juni 1966*, 6-13.
- HOMBURG, E., The Netherlands: Keeping the Ranks Closed: The Dutch Chemical Society, 1903-1914. En NIELSEN, A.K., STRBANOVA, S. (Eds.), *Creating Networks in Chemistry. The Founding and Early History of Chemical Society in Europe*, Royal Societies of Chemistry: Cambridge, 2008, Chap. 9, pp 186-222, p. 190.
- HOST-MADSEN, E., Professor D. Van Os and the Fédération Internationale Pharmaceutique 85 (39-40), 707-710 (1950).

- HUDSON, B., BOYLAN, M., *The School of Pharmacy, University of London, Medicines, Science and Society 1842-2012*, Elsevier: Amsterdam, 2013; Chap. 1, Furnishing the means of proper instruction: 1841-1861, pp 1-37; Theophilus Redwood (1806-1892), p. 17.
- HUDSON, B., BOYLAN, M., *The School of Pharmacy, University of London, Medicines, Science and Society 1842-2012*, Elsevier: Amsterdam, 2013; Chap. 2, The commencement of a new, 1862-1895, pp 39-72; Michael Carteighe (1841-1910), p. 69.
- HUDSON, B., BOYLAN, M., *The School of Pharmacy, University of London, Medicines, Science and Society 1842-2012*, Elsevier: Amsterdam, 2013; Chap. 2, The commencement of a new, 1862-1895, pp 39-72; p. 43.
- HUISMAN, F., *Farmacie, Apotheker en de geest van Thorbecke. Farmaceutische discipline vorming aan het eind van de Negentiende EEUW. Gewina 19, 280-295 (1996).*
- HUYGENS ING, Kok, Jan (1899-1982); <http://resources.huygens.knaw.nl/bwn1880-2000/lemmata/bwn3/kok>
- HUYGENS ING, Schoorl, Nicolaas (1872-1942); <http://resources.huygens.knaw.nl/bwn1880-2000/lemmata/bwn2/schoorl>
- HUNT, R., Report of the Proceedings of the Tenth International Congress of Pharmacy, Brussels, September 1-6, 1910. *Public Health Reports (1896-1970)*, 1910, 40 (Oct 7), 1406-108.
- INAUGURATION DU MONUMENT Pelletier et Caventou. *Journal de pharmacie et de chimie* 12, 240-260 (1900).
- INTERNATIONAL KONGRESS der pharmazeutischen Gesellschaften und vereine. *Zeitschrift des Allgemeinen Oesterreich Apotheker-Vereines* 21(6), 113-116 (1867).
- INTERNATIONAL PHARMACEUTICAL CONGRESS OF BRUNSWICK. *Journal of American Pharmacy* 14, 278-291 (1866).
- IRISSOU, L., Un anniversaire. *Revue d'histoire de la pharmacie* 38(127) 83-84 (1950).
- ISTVÁN, B.; SÁNDOR, D., Néhány adat a nemzetközi gyógyszerészeti együttműködés történetéhez I.: Braunschweig 1865: 140 évvel ezelőtt rendezték meg az első nemzetközi gyógyszerész-kongresszust. *Gyógyszerészet* 49, 429-431 (2005).
- ISTVÁN, B.; SÁNDOR, D., Néhány adat a nemzetközi gyógyszerészeti együttműködés történetéhez II. Az 1867 és 1913 között tartott kongresszusok kronológiája és a Fédération Internationale Pharmaceutique (FIP) megalakítása. *Gyógyszerészet* 49, 1-8 (2005). Augusztus.
- ISTVÁN, B.; SÁNDOR, D., Néhány adat a nemzetközi gyógyszerészeti együttműködés történetéhez III. Gyógyszernek és előiratok egységesítésére irányuló törekvések A nemzetközi gyógyszerkönyv megvalósulásához vezető út. I. Rész. *Gyógyszerészet* 50. 95-102 (2006). Február.
- ISTVÁN, B.; SÁNDOR, D., Néhány adat a nemzetközi gyógyszerészeti együttműködéstörténetéhez III. Gyógyszernek és előiratok egységesítésére irányuló törekvések A nemzetközi gyógyszerkönyv megvalósulásához vezető út 2. rész. *Gyógyszerészet* 50. 233-237. 2006. Április.
- JAUSSAUD, P., Les pharmaciens français et les sciences de la vie dans les grandes institutions parisiennes : de la seconde moitié du XIXe siècle à la Grande Guerre. *Bulletin d'histoire et d'épistémologie des sciences de la vie* 17, 13-36 (2010).
- JOHNSON, A.E., Obituary. *Francis Sutton. The Analyst* 42 (497), 261-263 (1917).
- JOURNAL de CHIMIE MEDICALE* 6(1) (1830); p. 29, 95 y 320.
- JOSEPH PRICE Remington, Phar. M., Phar. D., F.C.S., F.R.M.S., F.L.S. *Journal of American Pharmaceutical Association* 3(10), 1487-1488 (1914).
- KAPOOR, S.C. Dumas, Jean-Baptiste-André, en *Dictionary of Scientific Biography*, tome IV, C.C. Gillispie (Ed.), Charles Scribner's Sons: New York, 1971, pp 242-248.
- KENDTES GRAVSTED, Hans Peter Madsen, Dansk apoteker og assessor; <https://gravsted.dk/person.php?navn=hpmadsen>
- KIEFFER, KAMPMANN, Die Bestrebungen der Apotheker in Frankreich. *Neues Jahrbuch für Pharmacie* 25, 116-118 (1866).

- KLINGER, Von der General-Versammlung des allg. deutschen Apotheker-Voreins in Wiesbaden. Zeitschrift des allgemeinen Oesterreichischen Apotheker-Vereines 2, 387-390 (1864).
- KNAPMAN, J.W. (Compiled by), Catalogue of the Library of the Pharmaceutical Society of Great Britain, Printed by the Society: London, 1885, p. 221.
- KONING, D.A.W., Bijdrage tot de farmaceutische numismatiek van België. Cercle Benelux d'histoire de la pharmacie. Bulletin N° 64, 38-49, February 1983.
- KREMERS, E., URDANG, G., SONNEDECKER, G., Kremers and Urdang History of Pharmacy, 3rd ed., Lippincott: Philadelphia, 1963, p. 417.
- LABRUDE, P., Le pharmacien inspecteur Émile-Eugène Burcker (Pfaffenhoffen 1846- Paris 1908) : un pharmacien militaire du XIX siècle dont l'œuvre scientifique justifiait pleinement l'appellation aujourd'hui disparue de "pharmacien chimiste". 2020. hal-02484920.
- LAITINEN, H.A., A bit of history -The history of a motto. Analytical Chemistry 51(8) 887A (1979).
- LANDSCHAPT Erfgoed Utrecht, H.P. Wijsman 1908-1916; https://www.utrechtaltijd.nl/collecties/detail/?collection=utralt_utrechts-archief_9f6399d0-1917-5804-a05c-836c0f7ff99d
- LASZLÓ, K., Köszöntjük a kilencvenéves Dörnyei Sándor orvostörténész, 2016-157 évfolyam, 45 szám 1779-1780.
- LAWALL, C.H., Professor Joseph Price Remington. American Journal of Pharmacy 90, 65-72 (1918).
- LEFEBVRE, T., Les locaux de l'ancienne École de la rue de l'arbalète en 1885 [Q283 Les bâtiments de la rue de l'Arbalète en 1885]. Revue d'histoire de la pharmacie 97 (366) 252 (2010).
- LEFEBVRE, T., RAYNAL, C., Médicaments, polémiques et vieilles querelles, Éditions Belin : Paris, 2016.
- LEFORT, J., Discours prononcé aux obsèques de M. Robinet au nom de la Société de Pharmacie de Paris, Imprimerie Cusset et C, Paris, 1870.
- LEICESTER, H. Tobias Lowitz. Discoverer of basic laboratory methods. Journal of Chemical Education 22 (3) 149-15 (1945).
- LITERATUR für Pharmacognosie und Pharmazie. Jahresbericht über die Fortschritte der Pharmacognosie, Pharmacie und Toxicologie 6, 3-6 (1872), p. 5, n° 43.
- L.V., Congrès International de Pharmacie, à Bruxelles du 1^{er} au 5 septembre 1910. L'Union Pharmaceutique 51, 24-27, 175-176, 375-379, 415-420, 438-439, 460-464, 482-486, 533-534 (1910).
- L.V., Le XI^e Congrès International de Pharmacie. L'Union Pharmaceutique 54, 461-467, 515-519, 532-533, 554-55 (1913).
- L'UNION PHARMACEUTIQUE, Fête du Cinquantenaire de « l'Union Pharmaceutique » et de la Fondation de la « Société d'Histoire de la Pharmacie ». Banquet du 13 Février 1913. Imp. Maulde, Doumen et Cie : Paris, pp 3-23.
- LLOYD, J.U., Joseph P. Remington. Journal of the American Pharmaceutical Association 7(1), 3-5 (1918).
- MACKER, Discours prononcé sur la tombe de Monsieur Giorgino, Le Doyen des Pharmaciens de Colmar et peut-être de toute l'Alsace-Lorraine. Bulletin de la Société d'Histoire naturelle de Colmar 5, 127-130 (1889-1900).
- MAISCH, J.M., FINLAY, A.K. Circular letter relating to the Seventh International Congress. Proceedings of the American Pharmaceutical Association, Fortier Annual Meeting, Profile House, N.Y., 1892, 7-9 (circular en inglés, francés y en alemán).
- MARTI, M.H., Le Plâtrage des vins, Rapport fait à l'Académie de Médecine au nom d'une Commission Dans les séances de, 5 et 12 juin 1888, G. Masson: Paris, 100 pp.
- MARTIN, J., ASUERO, A.G., SAEZ-PLAZA, P., Química (Analítica) en los orígenes de las academias y sociedades científicas: Francia, Inglaterra y Hungría como ejemplos. Memoria de la Real Academia Sevillana de Ciencias 21, 163-217 (2018a).
- MARTIN, J., SAEZ-PLAZA, P., ASUERO, A.G., Algunas contribuciones de médicos y farmacéuticos al análisis volumétrico con detalles adicionales de su vida y obras. Anales de la Real Academia Nacional de Farmacia 85(2), 123-152 (2019a).

- MARTIN, J., SAEZ-PLAZA, P., ASUERO, A.G., La Farmacia en la Sección de Químicas de la Real Academia de Ciencias de Francia (1666-1793). *Anales de la Real Academia Nacional de Farmacia* 85(2), 153-166 (2019b).
- MARTIN, J., SAEZ-PLAZA, P., ASUERO, A.G., Theophilus Redwood, héroe de la farmacia británica, primer presidente de "The Society of Public Analysts". Part I. *Anales de la Real Academia Nacional de Farmacia* 84(4), 359-374 (2018b).
- MARTIN, J., SAEZ-PLAZA, P., ASUERO, A.G., Theophilus Redwood, héroe de la farmacia británica, primer presidente de "The Society of Public Analysts". Part II. *Anales de la Real Academia Nacional de Farmacia* 85(1), 20-48 (2019c).
- MASOIN, E., Discours prononcés aux funérailles de Désiré-Alexandre van Bastelaer, le 20 mars 1907. *Bulletin de l'Académie royale de médecine de Belgique* 27, 158-161 (1907).
- MÉDARD, L., TACHOIRE, H., Histoire de la thermochimie, Presses Universitaires de Provence : Aix-en-Provence, 1994, 3.7, Abria et Grassi, 3 pp.
- MEDICINALVAESEN, Lovgivning, m. m. Sverige. Dodsfauld. *Archiv for Pharmaciogtechnisk Chemi* 29, 48 (1875).
- MEETINGS OF PHARMACEUTICAL ASSOCIATIONS IN GERMANY, Committee of the North German Apothecaries' Association: Programme of the annual meeting to be held in Brunswick. *Journal of the American Pharmacy* 1865, 13, 494-495.
- MÉHU, C., Le Quatrième Congrès international pharmaceutique. *Annuaire de la Pharmacie française et étrangère* 24-35 (1876) ; Rapport sur le IV^e Congrès international pharmaceutique. *Journal de pharmacie et de chimie* 21, 132-145 (1875).
- MEHU, C. (Trad.), Manuel Systématique d'analyse chimique volumétrique, ou, le dosage quantitatif des substances chimiques par les mesures, appliqué aux liquides, aux solides et aux gaz, Francis Sutton (Auteur) G. Masson : Paris, 1883.
- MÉHU, C., Pharmacy in Russia. *Canadian Pharmaceutical Journal* 9, 79-84 (1875); *The Pharmacist* (Chicago) 8(9) 257-261 (1875); Sur la pharmacie russe. *Annuaire de la Pharmacie français et étrangère*. 35-50 (1875).
- MÉHU, C. J.M., Recherches pour servir a l'histoire chimique et pharmaceutique de la petite centaurée, Pillet fils ainé : Paris, 1862, 44pp.
- MÉHU, C., *Traité Pratique et Élémentaire de de Chimie Médicale appliquée aux recherches cliniques*, P. Asselin, Libraire de la Faculté de Médecine : Paris, 1878.
- MEMOIR of Prof. Wm. Procter Jr. *American Journal of Pharmacy* 46, 512-533 (1874).
- MEMORIAL TRIBUTE to Frederick Hoffmann. *Pharmaceutical Reviews* 23, 1-3 (1905).
- MERCK, Heinrich Emmanuel Merck Award for Analytical Sciences; <https://www.merckgroup.com/en/research/grants-and-awards/heinrich-emanuel-merck-award.html>
- MERCK, Historical Milestones. Our transformation from a pharmacy in 1668 into a global science and technology company. The US/Canada businesses of Merck KGaA, Darmstadt, Germany.
- MIALHE, L. Discours Prononcé au Nom de l'Académie sur la Tombe de M. Guibourt. *Bulletin de l'Académie Impériale de Médecine* 32, 1012-1014 (1866-1867).
- MIALHE, L., Hommage funèbre à son ami Stéphane Robinet dans le *Bulletin de l'Académie de Médecine* (1869).
- MILNE-EDWARDS, A. Éloge de M. Valenciennes. *Journal de pharmacie et de chimie*, 4^e serie, 5, 5-6 (1867).
- MINISTÈRE DE LA CULTURE, Tableau : Portrait de Jean-Baptiste François Raymond Fernand Jardin ; <https://www.pop.culture.gouv.fr/notice/palissy/PM34003951>
- MORDAGNE, M., II. La pharmacie Mordagne, à Castelnaudary. *Revue d'histoire de la pharmacie* 41 (137), 51-53 (1953).
- MUSÉE DES ETOILES, Pharmacien Général Marty ; <http://museedesetoiles.fr/piece/pharmacien-general-marty/>; http://museedesetoiles.fr/portfolio_tag/pharmacien-marty/

- N° 83, pl. LXVIII. Union Pharmaceutique de l'Arrondissement Judiciaire de Charleroi. D.A. van Bastelaer, Président, Bruxelles, 1885. *Revue Belge de Numismatique* PLXI, 168-171 (1886).
- NECROLOGIA, Albert Derneville. *El restaurador farmacéutico* 16(1), 15-16 (1911).
- NECROLOGIE, Albert Schammelhout. *Bulletin des sciences pharmacologiques* 38, 44 (1931) ; *The chemist and druggist* 150 (1931) ; *Journal de pharmacie et de chimie* 367 (1931) ; *L'Union pharmaceutique* A72 (15 Janvier), 64 (1931).
- NECROLOGIE, Arthur Petit (1837-1912). *Bulletin des sciences pharmacologiques* 19, 179 (1912) ; *Journal de pharmacie et de chimie* p. 328 (1912).
- NECROLOGIE, Calixte Crinon. *L'Union Pharmaceutique* 70(4), 126-127 (1929).
- NECROLOGIE, M. Ernest-Cesar Van de Vyvere. *Annales de la Société Medico-Chirurgique de Bruges* 14, 343-346 (1852).
- NECROLOGIE, Fernand Ranwez (1866-1925). *Bulletin des sciences pharmacologiques* 32, 164 (1925). *Journal de pharmacie et de chimie* 160 (1925).
- NECROLOGIE, Valère Haazen. *L'Union Pharmaceutique* A72 (15 Janvier), 64 (1931).
- NORTHWESTERN LIBRAIRIES, Archival Manuscript Collections, Osgood Oldberg (1846-1913); <https://findingaids.library.northwestern.edu/repositories/6/resources/119>
- NOTICES OF FELLOWS, honorary and ordinary, recently deceased. Nicholas Henry Martin. *Proceedings of the Royal Society of Edinburgh* 35, 17 (1917).
- NOTICIAS, La Federación Internacional Farmacéutica. *El Restaurador Farmacéutico* 67(21), 431-432 (1912).
- OVERBECK, A., SCHLIENKAMP, C., *Protocoll der General-Versammlung des deutschen Apotheker-Vereins zu Coburg*. Montag, den 2. September 1861, Sitzung vom 3. September 1861. *Verzeichnis der Teilnehmer an der General-Versammlung zu Coburg*. *ARCHIV DER PHARMACIE* 11, 81-94 (1861).
- OBITUARY, Albert Derneville. *Pharmaceutical Journal* 32, 30 (1911).
- OBITUARY, Christian Carl Arthur Casselmann. *American Journal of Pharmacy* 3, 96 (1873).
- OBITUARY, Dr. Camille Jean Marie Mehu (1835-1887). *American Journal of Pharmacy* 60, 156 (1888) ; *The Chemist and Druggist* 31, 746 (1887) ; *American Druggist* 17, 23 (1888).
- OBITUARY, Dr. Theophilus Redwood. *American Journal of Pharmacy* 54, 231-232 (1892).
- OBITUARY, Michael Carteighe. *American Journal of Pharmacy* 82, 384-397 (1910)
- OBITUARY, Michael Carteighe. *The Hospital (London)* 48 (1246), 325 (1910).
- OBITUARY, Stephane Robinet. *The American Journal of Pharmacy* 18, 192 (1870).
- OBITUARY. Theodor Rieckher. *American Journal of Pharmacy* 60, 157 (1888).
- OBITUARY, Wilhelm Dankwortt (1822-1892). *American Journal of Pharmacy* 64, 176 (1892).
- OBITUARY, William Martindale, *The Thames* 6 de Feb. 1902, p. 7.
- OBL, Schürer von Waldheim, Anton (Heinrich Ludwig Peter) ; später nur von Waldheim (1830-1899), *Apotheker. Österreichisches Biographisches Lexikon, Austrian Centre for Digital Humanities and Cultural Heritage*
https://www.biographien.ac.at/oebl/oebl_S/Schuerer-Waldheim_Anton_1830_1899.xml
- PASCAL, N., *Le Decius de la Pharmacie*. *Le mouvement médical* 33, 355-358 (1865), Jeudi 30 novembre.
- PARFAIT, I., LABRUDE, P., *La chimie et la pharmacie à l'Exposition internationale de l'Est de la France (Nancy, 1909)*. *Revue d'histoire de la pharmacie* 89(329), 22-32 (2001), p. 25.
- PATCH, E.L., *Columbian Exposition*. *Annual Meeting of the American Pharmaceutical Exposition*. *American Druggist and Pharmaceutical Record* 23, 116-125 (1893); *American Journal of Pharmacy* 65, 502-510 (1893)
- PAVESI, A., ROTONDI, E., *Studi chimico-idrologici sulle acqua potabili della città di Milano*. *Memoria premiata dal R. Istituto Lombardo di Science e Lettere, Libreria U. Hoepli: Milano-Napoli-Pisa*, 1876.

- PAUL, C., Science and Immortality. The Éloges of the Paris Academy of Sciences (1699-1791), University of California Press: Berkeley, 1980.
- PEOPLE, Oscar Goldberg, American pharmacologist; <https://peoplepill.com/people/oscar-oldberg/>
- PERGER, P., Dörnyei Sándor 90 éves!; <http://ki2.oszk.hu/3k/2016/12/dornyei-sandor-90-eves1/>
- PERROT E., Biographie. M. le Docteur Gustave Planchon, Directeur de l'École Supérieure de Pharmacie de Paris. Bulletin des Sciences Pharmacologiques 2, 130-135 (1899-1900).
- PERSONAL AND NEW ITEMS, Dr. J.J. Hofman. Journal of the Pharmaceutical Sciences 11(12), 1078 (1922).
- PERSONAL DER Kaiserlichen Universität zu Dorpat (1872); <https://opacplus.bsb-muenchen.de/Vta2/bsb11041718/bsb:10555210?page=29>
- PETIT, A., COLLIN, L., Guide Militaire des étudiants et médecins et pharmaciens de réserve et de l'Armée Territoriale, troisième ed., Société d'Éditions Scientifiques : Paris, 1897.
- PETIT, E.A., Sur la morphine et les préparations d'opium, E. Thunod et Cie : Paris, 1862, 32 pp.
- PFREPPER, R., GAKKEL, T.A., SANJAKAN, E.I., KÄSTNER, I., Zur Entwicklung der Homöopathie in St. Petersburg. Jahrbuch der Karl und Veronica Carsten-Stiftung 10 (2003): KVC: Essen, 2004, pp 15-21.
- PFREPPER, R., Der deutsch-russische Pharmazeut und Chemiker Johann Tobias Lowitz (1757-1804) im Urteil seiner Zeitgenossen. En: Von Samuel Gottlieb Gmelins Reise durch Russland bis zum Niedergang der Apothekerfamilie Pöhl (Pfrepper, R., Kästner, I.; Engelhardt, D. v., Eds.). Shaker: Aachen, 2001.
- PFREPPER, R. Der deutsch-russische Pharmazeut und Chemiker Johann Tobias Lowitz (1757-1804). Neue Materialien zur Biographie. En: Europa in der Frühen Neuzeit. Festschrift für Günter Mühlpfordt (Donnert, E., Ed.), Böhlau: Köln, Weimar, Wien, 2002, S. 587-606.
- PFREPPER, R. Der St. Petersburger Chemiker und Pharmazeut Johann Tobias Lowitz (1757-1804). En "Medizin und Pharmazie im 18. und 19. Jahrhundert" (Kästner, I., Pfrepper, R., Eds.), Shaker: Aachen, 2000.
- PFREPPER, R., PFREPPER, G., Georg Moritz Lowitz (1722-1774) und Johann Tobias Lowitz (1757-1804) - zwei Wissenschaftler zwischen Göttingen und St. Petersburg. En: 300 Jahre St. Petersburg. Russland und die „Göttingische Seele“. (Mittler, E.; Glitsch, S., Eds.). Niedersächsische Staats- und Univ.-Bibl.: Göttingen, 2003, S. 163-182.
- PFREPPER, R., PFREPPER, G., Johann Tobias Lowitz (1757-1804) und die Priorität der Entdeckung von Chrom. En: Wer vieles bringt, wird manchem etwas bringen" - ein medizin- und wissenschaftshistorisches Florilegium: Festgabe für Ingrid Kästner zum 60. Geburtstag (Pfrepper, R., Fahrenbach, S., Decker, N., Eds.), Shaker: Aachen, 2002.
- PHILADELPHIE COLLEGE of Pharmacy, Joseph Price Remington. Born March 26, 1847, died January 1, 1918, reprinted from the American Journal of Pharmacy, February, 1918, The New Era Printing Company, Lancaster, PA; Am J Pharm 1918; 90: 65-118.
- PLAAT, M.E., In memoriam professor P. van der Wielen (1872-1947). Hoofdartikelen, zaterdag 18 januari 1947, pp 138-139.
- PLANCHON, G., Traité Pratique de la détermination des drogues simples d'origine végétale, Tome second, Librairie F. Savy: Paris, 1875.
- PONTIER, A., Histoire de la Pharmacie, origines -moyen âge – temps modernes, Octave Doin: Paris, 1900.
- PROF. D. H.P. WJISMAN, ChemischWeekblad 11(28), 670-671 (1914).
- PROGRAMM zu dem im September 1865 zu Braunschweig abzuhaltenden internationalen pharmaceutischen Kongress. Bericht Fünfte General-Besammlung des allgemeinen Österr. Apotheker-Vereines 58-66 (1865).
- PROGRAMM zur General-Versammlung in Dessau am 11. und 12. September 1849. Archiv und Beitung der Apotheker-Vereines in Norddeutschland 4 81-106 (1849).

- PROTOKOLLE des internationalen Kongresses der Deputierteneuropäischer Apotheker-Vereine in Braunschweig. Vierteljahresschrift für Praktische Pharmacie 15, 134-151 (1866).
- PUERTO SARMIENTO, J., La farmacia de la Plaza de San Ildefonso (Madrid). Boletín de la Sociedad Española de Historia de la Farmacia (1), 97-140 (1981).
- QUIRKE, V., SLINN, J., Perspectives on Twentieth-century Pharmaceuticals, Peter Lang: Oxford, 2009, p. 79.
- RAUBENHEIMER, O., Pharmaceutical happening a Century ago. 2. Men, especially pharmacists, born in 1814. Trapp. Journal of American Pharmaceutical Association 3(12) 1703-1707 (1914), p. 1705.
- RÈGLEMENT du XIe Congrès International de Pharmacie. L'Union Pharmaceutique 54, 78-80, 228-230, 292-294, 326-327 (1913).
- REMYINGTON, J.P., Cooperation a necessity. Why should there not be activity between the medical and pharmaceutical profession, in this direction. Journal of American Pharmaceutical Association 4(10), 1237-1240 (1915).
- REMYINGTON, J.P., Recollections of Michael Carteighe. Journal of American Pharmaceutical Association 1(3), 243-245 (1912).
- REMYINGTON, J.P., The Eleventh International Congress. Journal of American Pharmaceutical Association 2(12), 1555-1556 (1913)
- REMYINGTON, J.P. The Practice of Pharmacy: a treatise on the modes of making and dispensing officinal, unofficinal. And extemporaneous preparations with descriptions of their properties, uses and doses, intended as a Handbook for pharmacists and physicians and a textbook for students, JB Lippincot Company: Philadelphia, 1887 (registrado en la Biblioteca del Congreso en 1885).
- REMYINGTON, J.P., The Science and Practice of Pharmacy, volume I and volume II. Twenty-second edition. Edited by Lloyd V. Allen Jr. Philadelphia, PA: Pharmaceutical Press; 2012. 2724 pp.
- REMYINGTON, Joseph Price professor of pharmacy and dean of the Faculty of Philadelphia College of Pharmacy. The National Ciclopoedia of American Biography Vol 5, James T. White & Company: New York, 1894, pp 349-350.
- RENÉ, W., PIERRE, J., A propos de Louis Mialhe. Revue d'histoire de la pharmacie 59(211), 550 (1971).
- RESOLUTION ADOPTED by Philadelphia College of Pharmacy, Obituary. In memoriam Joseph Price Remington 1847-1918. Journal of the American Pharmaceutical Association 7(1), 207-210 (1918).
- REPORT OF THE PROCEEDINGS of the Fifth International Pharmaceutical Congress, London, 1881 (Classic Reprint).
- REPORT OF THE PROCEEDINGS of the Seventh International Pharmaceutical Congress held at Chicago, August 21, 22, 23, 1893, American Pharmaceutical Association, The Lakeside Press: Chicago (ILL), 1897.
- RICHARDSON, M.A., A Guide through Newcastle-upon-Tyne and its vicinity, M.A. Richardson an all booksellers, 1846, p. 13.
- RIECKHER, Th., Chemische Untersuchung einiger Sool-Mutterlaugen von Württemberg, Baden, Hessen, Preussen. F. Dürr: Marbach, 1886.
- RIECKHER, Th., Recherche et dosage de l'arsenic dans les fuchsines commerciales. Bulletin de la Société Chimique de Paris 15, 64 (1871).
- RIECKHER, Th., Studien über die Württembergische Pharmacopoe. VII. Aq. Amydal. amar. concentr. Neues Jahrbuch für Pharmacie 18, 1-19 (1869).
- ROBINET, Compte rendu des congrès de Rennes et de Brunswick Lu à la Société de pharmacie, dans sa séance du 6 décembre. Journal de Pharmacie et de Chimie 3, 5-16 (1866).
- ROBINET, Du remède secret, et de sa définition. Lu à la section de Pharmacie, le 12 septembre 1829. Journal de Chimie Médicale 1(6), 43-53 (1830).

- ROBINET, Eine französische stimme über den pharmaceutischen Kongress in Braunschweig. Zeitschrift des Allgemeinen österreichischen Apotheker-Vereines 4, 137-138 (1866).
- ROBINET, Extrait du Procès-Verbal De la Séance de la Société de Pharmacie de Paris, du 4 octobre 1865. Journal de Pharmacie et de Chimie 2, 388-390 (1865), p. 389.
- ROBINET, International Pharmaceutical Congress at Paris, 1867. Second Session of the International Congress of Associations and Societies of Pharmaceutics, organised by the Society of Pharmacy of Paris, The American Journal of Pharmacy 1867, 39 (Third Series, 15), 280-283.
- ROBINET, Sociedad de Farmacia de Paris. Congreso Internacional de las Asociaciones y Sociedades de Farmacéuticos. El restaurador farmacéutico 22(4), 152-154 (1867); domingo 10 de marzo.
- ROBINET, Sociedad de Farmacia de Paris. Congreso Internacional de 1867, Segunda sesión. El restaurador farmacéutico 23 (36), 567-570 (1867); domingo 8 de septiembre.
- ROBINET, Zweiter internationaler Congress der pharmaceutischen Genossenschaften. Vierteljahresschrift für Praktische Pharmacie 16, 472-476 (1867).
- ROBINET, Zweite Sitzung des internationalen Congresses pharmaceutischer Vereine veranstaltend von der "Société de Pharmacie" in Paris. Pharmaceutische Zeitschrift für Russland 6, 438-441 (1867).
- ROCKE, A.J., *Chemical Atomism in the Nineteenth Century, From Dalton to Cannizzaro*, The Ohio State University Press: Columbus, 1984.
- ROLDAN GUERRERO, R., Diccionario Biográfico y Bibliográfico de Autores Farmacéuticos Españoles. Tomo II, De 647 DALMAU RIBOT (Gabriel) a 1246 KUSTE Y GARARACH (Juan), Imprenta del P.H.O.E.: Madrid, 1975.
- ROSEMONT, L.R., Histoire de la Pharmacie à travers les âges. Tome II. Du XVIIe siècle a nos jours, J. Peyronnet & Cie : Paris, 1932, p. 371.
- RUIZ, J.R., Guibourt, Nicholas Jean Baptiste Gaston (1790-1867), Historia natural de las drogas simples o curso de historia natural explicada en la Escuela de Farmacia de París, 4 tomos, Imprenta de Don Manuel A. Gil, Tomo I, 1851.
- RUIZ SOMAVILLA, M.J., La Société de Chimie Médicale y la institucionalización de la química médica en el París de la Restauración. Cronos 3(1), 143-171 (2000).
- RULES AND REGULATIONS of the Fédération Internationale Pharmaceutique. Journal of Pharmaceutical Sciences 1(7), 772-776 (1912).
- RUMPF-LEHMAN, B., Seltene Drogen von "Dr. Dittrich aus Prag" in der Wigandschen Drogen-sammlung der Universität Marburg. Beiträge zur Geschichte der Pharmazie 31(16), 123-126 (1982).
- S.A. Pharmacy in Russia, Soviet Russia 1(27) 6-8 (1919).
- SCHNEIDER, W., Apotheker-Autographen meiner Sammlung, Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft: Stuttgart, 1990.
- SAEZ-PLAZA, P., ASUERO, A.G., MARTIN, J., De la historia Antigua de los métodos iodométricos: de Robert Bunsen a KarolyTham. Anales de la Real Academia Nacional de Farmacia 84(4) 337-345 (2018).
- SAEZ-PLAZA, P., MARTIN, J., ASUERO, A.G., El descubrimiento de los halógenos ¿Química o Farmacia? (3ª parte): Bromo, Triadas y Flúor. Memorias de la Real Academia Sevillana de Ciencias 2017, 20, 221-261.
- SAEZ Y PALACIOS, R., FAUSTO, G., FERRARI, C., Análisis química cualitativo y cuantitativo del agua mineral de Aramayona, provincia de Álava, Hospicio: Madrid, 1878.
- SCHNIEDER, W., Neue Arbeiten zur Geschichte der deutschen Pharmazie im 19. Jahrhundert Medizinhistorisches Journal 1 (2/3), 192-204 (1966).
- SCHOORL, N., H.P. Wijsman. Chemisch Weekblad 13 (28), 810-816 (1916).
- SCHOOR, N., Het belangrijke wetenschappelijk werk van N. Schoorl, beschreven door hemzelf. Chemisch Weekblad 39, 415-422 (1942); Pharmaceutisch Weekblad 79, 739-753 (1942).
- SCHÜTZE, S.K., Friedrich Hoffmann (1832-1904) and the "Pharmaceutische Rundschau": a contribution to the history of American Pharmacy, Peter Lang: Frankfurt, 1993, tr. 2002.

- SÉPULTURE du pharmacien Louis MIALHE – Cimetière Montmartre.jpg;https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Sépulture_du_pharmacien_Louis_MIALHE_-_Cimetière_Montmartre.jpg
- SIBILLE, C., A travers la Russie, Relation d'un excursionniste en caravane, Librairie Ch. Delagrave : Paris, 1892, pp 215-216.
- SIGRIS, The first generation of Russian chemists (1700-1830). Between pharmacy, technical know-how and Academia. *International Journal for the History of Scientific Ideas* 10(2), 8-51 (2019).
- SITZUNG-PROTOCOLL der 1. Sitzung des Internationalen Apotheker-Congresses zu Paris vom 21. August 1867; der 2 Sitzung des Internationalen Apotheker-Congresses zu Paris vom 22. August 1867. *Pharmaceutische Zeitschrift für Russland* 6,744-760; 760-766 (1867).
- SIXTH International Pharmaceutical Congress. *American Journal of Pharmacy* 15, 154-156, 158, 525-528 (1885).
- SNELDERS, H.A.M., Schoorl, Nicolaas (1872-1942); <http://resources.huygens.knaw.nl/bwn1880-2000/lemmata/bwn2/schoorl>; versión original incluída en "Biografisch Woordenboek van Nederland".
- STAIGER, Martindale: a history of success. Conference: 40th International Congress for the History of Pharmacy (IHP): Berlin, 2011, Sept.
- STAIGER, Martindale: the men behind the book. Conference: 40th International Congress for the History of Pharmacy (IHP): Berlin, 2011, Sept.
- STAMP, E., From wood to whiskey, this Copenhagen bar pays attention to the details; <https://www.hunker.com/13716006/from-wood-to-whiskey-this-copenhagen-bar-pays-attention-to-the-details>
- SUER, N., Les spécialités pharmaceutiques au XIXe siècle: statuts et fondements de l'innovation. *Le Mouvement Social* 2014/3 (n° 248), 27-46.
- SUPLEMENTO a la parte oficial de El Restaurador Farmacéutico. Congreso Farmacéutico Español. Documentos relativos a la sesión del día 22 de noviembre de 1866.
- SUTTON, F., A Systematic Handbook of Volumetric Analysis, or the quantitative estimation of chemical substances by measure, adapted to the requirements of pure chemical research, etc. 1863.
- SUTTON, F., On the construction of an International Pharmacopoeia. *The Pharmaceutical Journal and Transactions* 5, 621-623 (1874-75).
- THE BISMARCK of Pharmacy. *The chemist and druggist* 39, 523 (1891).
- THE FRENCH pharmaceutical Conference (eleventh Session), and the international Congress of pharmacy (second Session). *Pharmaceutical Journal and Transactions* 8, 615-616 (1866-67).
- THE INTERNATIONAL Congress of Pharmaceutical Associations and Unions held at Vienna on the 9th and 10th of September 1869. *Pharmaceutical Journal and Transactions* 11, 174-180 (1869-70).
- THE INTERNATIONAL Pharmaceutical Congress. *Pharmaceutical Journal and Transactions* 12, 51-52, 91-92 (1881-82).
- THE INTERNATIONAL Pharmaceutical Congress. *Pharmaceutical Journal and Transactions* 15, 640-641, 642, 736, 925 (1884-1885).
- THE SEVEN International Pharmaceutical Congress, at Chicago. *The British Medical Journal* 1883, sept 16, 637; *American Journal of Pharmacy* 61, 493-494 (1889); *Pharmaceutical Journal and Transactions* 16, 213-216 (1885-86).
- THE TENTH International Congress of Pharmacy Held at Brussels September 1 to 6. *The chemist and druggist* 38-45 (1910); September 10.
- THE THIRD International Congress of Pharmaceutical Societies and Associations. *American Journal of Pharmacy* 17, 373-374 (1869); THE THIRD International Pharmaceutical Congress. *American Journal of Pharmacy* 17, 572-574 (1869).
- THIRD SITTING. *Pharm. J. Trans.* 7, 217-218 (1865-66).
- THOMS, Christian Brunengräber, *Berichte der Pharmaceutischen Gesellschaft* 3, 61-63 (1893).
- TOBIAS LOWITZ ;https://de.wikipedia.org/wiki/Johann_Tobias_Lowitz; https://www.fuerthwiki.de/wiki/index.php/Tobias_Lowitz
- TRAPP, *Journal of pharmaceutical Sciences* 3(12), 1705 (1914).

- UDLANDET, Den Internationale Apothekerkongress I Braunschweig. Archiv for Pharmacyog TechnikChemi 19, 470-479 (1865).
- UDLANDET. DODSFALD. G.A. Björklund. Archiv for Pharmacyog TechnikChemi 43, 240 (1886).
- UNIVERSITÄT INNBRUCK, Pharmacognosy – Institute of Pharmacy. History of Pharmacognosy dittrichiana;
<https://www.uibk.ac.at/pharmazie/pharmakognosie/history.en/>
- UNIVERSITÉ PARIS DESCARTES, Musée de matière médicale, exposition virtuelle -Septembre 2010. Gaston Guibourt et les quinquinas- Un quinologue illustre : Gaston Guibourt (1790-1867) ;
https://www.biusante.parisdescartes.fr/guibourt/exposition_guibourt_2.htm
- USP U.S. Pharmacopoeia. Global visionaries. Joseph R. Remington, Ph.M.; <http://www.usp.org/sites/default/files/global-impact/global-visionaries/02-joseph-remington.html>
- VAN BASTELAER (Désiré-Alexandre Henri), Dictionnaire biographique international de médecins et chirurgiens, L'Imprimerie de l'armorial François : Paris, 1903.
- VAN BASTELAER, Études comparatives et commentaires sur la Pharmacopoea Belgique Nova et le Codex Medicamentarius Pharmacopée française. Premier Partie, Librairie de Henri Maneaux: Brussels, 1868.
- VAN BASTELAER, D.A.H., Le Cimetière Belgo-Romano-Franc de Strée, Hector Manceaux : Mons, 1877.
- VAN BASTELAER, D.A.H., L'époque franque au point de vue des archéologues n'est pas la même en France et en Belgique. Hector Manceaux : Mons, 1883.
- VAN DE VYVERE, Réponse aux réflexions de M. le docteur C.J. Koene. Journal de Médecine, de chirurgie et de pharmacologie 36, 181-183 (1863).
- VAN DE VYVERE, E., Correspondance concernant le congrès international pharmaceutique de Bruxelles. Schweizerische Wochenschrift für Pharmacie 1, 174-176 (1885).
- VANDEWIELE, L.J., De controverse over de vrouwelijke apoteker in de farmaceutische wereld van de 19^e EUW. Kring voor de geschiedenis van de pharmacie – Cercle Benelux d'Histoire de la Pharmacie. Bulletin N° 66, 2-7, September 1984.
- VAN ARKEL, C.G., Beknopt overzicht van de geschiedenis der chemische nomenclaturen in verband met die van de Nederlandse farmacopoe 85 (39-40), 714-718 81950)
- VAN ARKEL, C.G., D. Van Os 25 jaar hoogleraar te Groningen 1925-3 oktober-1950. Pharmaceutisch Weekblad 85 (39-40), 701-705 (1950).
- VAN ITALLIE, HOFFMAN, J.J., Nomenclature pharmaceutique internationale. Bulletin de la Fédération Internationale Pharmaceutique 6, 72-79 (1925). En GUITARD EUGÈNE-HUMBERT, Bulletin de la Société d'histoire de la pharmacie 14(51), 263 (1926).
- VAN OS, D., Nicolaas Schoorl. Chemisch Weekblad 39 (31) 414-415 (1942).
- VAN SCHOOR, O., La plus ancienne législation médico-pharmaceutique de Belgique. La keuvre d'Ypres, XIIIe-XIVe siècles (Vorträge 1934, 22-28, Gesellschaft für Geschichte der Pharmazie ; Isis 24, 480)
- VAN SCHOOR, O., XI Congreso Internacional de Farmacia, La Haya, 17-21 Septiembre 1913. El Restaurador Farmacéutico 68 (19) 361-367 (1913); 68 (21), 402-408 (1913).
- VAN TIGGELEN, B., DEELSTRA, H., Belgium: From Industry to Academia. The Belgian Chemical Society, 1887-1914. En NIELSEN, A.K., STRBANNOVA, S (Eds.), Creating Networks in Chemistry. The Founding and Early History of Chemical Society in Europe, Royal Societies of Chemistry: Cambridge, 2008; Chapter 2, pp 23-42, p. 34.
- VAN TIGGELEN, B., FAUQUE, D., The formation of the International Association of Chemical Societies, Chemistry International (IUPAC) 2012 January-February, 34(1).
- VANDERKINDERE, L., 1834-1884. L'Université de Bruxelles. Notice Historique faite a la demande du Conseil d'Administration, P. Weissenbruch: Bruxelles, 1884; Annexes VII. Pharmaciens, CCXIII.

- VAST, H., MALLWTERRE, G., Atlas Historique. Formation des États Européens, Librairie Ch. Delagrave : Paris, 1898.
- VEREINS-ANGELEGENHEITEN. Allgemeiner deutscher Apotheker-Verein. Bericht über die Generalversammlung des allgemeinen deutschen Apothekervereins in Wiesbaden. Neues Jahrbuch für Pharmacie 22, 296-303 (1864).
- VEREINS- und Standesangelegenheiten, Anton von Waldheim. Zeitschrift des allgemeinen Österreich apotheker-vereines 40, 461-463 (1886).
- VERZEICHNISS der Mitglieder des allgemeinen österreichischen Apotheker-Vereines. General-Versammlung des allgemeinen Österr. Apotheker-Vereines 5, 67-79 (1865).
- VISSER, R.P.W., HAKFOORT, C., Werkplaatsen van Wetenschappen techniek. Industriële en academische laboratoria in Netherlands, 1860-1940, Rodopi: Amsterdam, 1987, p. 212.
- VON MUELLER, Pharmacist as scientific investigators. Canadian Pharmaceutical Journal 9 (1), 1-5 (1875-6).
- WADE, A. The men and the books. Pharm. Hist (London) 1999; 29(2): 24-32.
- WAROLIN, C., La création de l'École de pharmacie de Paris en 1803. Revue d'histoire de la pharmacie 91 (339), 453-474 (2003).
- WEITZ ; R., JULIEN, P., A propos de Louis Mialhe, Revue d'histoire de la pharmacie 59(211), 550 (1971).
- WIEN GESCHICHTE WIKI, Anton Schürervon Waldheim der Ältere ; https://www.geschichtewiki.wien.gv.at/Anton_Schürer_von_Waldheim_der_Ältere
- WIKIPEDIA, ChristianDitlev Ammentorp Hansen; https://en.wikipedia.org/wiki/Christian_Ditlev_Ammen-torp_Hansen
- WIKIPEDIA, Cornelia van Arkel; https://nl.wikipedia.org/wiki/Cornelia_van_Arkel
- WIKIPEDIA, Désiré Van Bastelaer; https://fr.wikipedia.org/wiki/Désiré_Van_Bastelaer
- WIKIPEDIA, Heinrich Wackenroder ; https://de.wikipedia.org/wiki/Heinrich_Wackenroder
- WIKIPEDIA, Leopold van Itallie; https://nl.wikipedia.org/wiki/Leopold_van_Itallie
- WIDIPEDIA, William Procter, Jr.; https://en.wikipedia.org/wiki/William_Procter_Jr.
- WILLIAM MARTINDALE;
<https://wellcomecollection.org/works?query=WILLIAM%20MARTINDALE&workType=k%2Cq&items.locations.locationType=iiif-image>
- WILLIAM H., H., PIERRE, J., Question XIV, Pharmacie, théâtre et musique. En: Revue d'histoire de la pharmacie 74 (268), 93-96 (1986)
- WISNIAK, J., Nicolas-Jean-Baptiste-GastonGuibourt. Educación Química 27, 163-171 (2016).
- WOLFANG, G. Die Beziehungen zwischen der Zürcher Apothekerfamilie Lavater und Johann Bartholomäus Trommsdorff. Erfurt. Swiss Journal of the history of medicine and sciences 43(3-4), 299-311 (1986).
- WORTHEN, D.B., Heroes of Pharmacy: Professional Leadership in Times of Change, 2e, APha, 2012.
- WORTHEN, D.B., Joseph Price Remington (1847-1918). J. Am. Pharm. Assoc. (Wash.) 2002; 42(4): 664-66.
- WORTEN, D.B., William Procter Jr. (1817-1874). Journal of the American Pharmaceutical Association 42(2), 363-364 (2002).
- ZALAI, K., 75th Anniversary of the International Pharmaceutical Fédération (F.I.P.): history of the period 1962-1987. International Pharmacy Journal, v. 1, Supp. 2.
- ZAYAS DE BAZAN Y PERDOMO, H., ASUERO, A.G. Tradición, experiencias y futuro en el ámbito profesional de un mundo nuevo. Discurso preceptivo pronunciado por el Dr. Héctor Zayas-Bazán y Perdomo en el Acto de ingreso, en la Academia Iberoamericana de Farmacia. ArsPharmaceutica 39(1), 47-56 (1998); Discurso de respuesta al Ilmo. Sr. D. Héctor Zayas Bazán y Perdomo por el Dr. D. Agustín García Asuero. ArsPharmaceutica 39(1) 57-65 (1998).
- ZOLTAN, V., Százéves a nemzetközi gyógyszerész Szövetség (FIP) 1912-2012. Gyógyszerészet 56, 515-528 (2012).
- ZWIKKER, J.J.L., N. School. Pharmaceutisch Weekblad 79, 490-495 (1942).

ENERGÍA DE LA LUZ: ELECTRICIDAD SIN FUEGO

*Conferencia pronunciada por el
Ilmo. Sr. D. Antonio Gómez Expósito,
dentro del ciclo “La luz: Vida, ciencia y progreso”,
el día 17 de septiembre de 2020.*

RESUMEN

La civilización actual, sustentada sobre un auténtico derroche de combustibles fósiles, se encuentra ante la encrucijada de tener que cambiar rápidamente su modelo de abastecimiento energético. Ello pasa necesariamente por la utilización masiva de energías renovables, todas ellas dependientes, directa o indirectamente, de la radiación solar. Este capítulo aborda el caso particular de la energía fotovoltaica, que en las próximas décadas se convertirá en la principal aportación al mix energético mundial. Tras una revisión histórica del origen de esta tecnología en el siglo XIX, se describe el efecto fotovoltaico en las modernas células basadas en semiconductores de silicio. Posteriormente, se presentan las aplicaciones pioneras de los paneles fotovoltaicos, desde los satélites artificiales hasta las boyas marinas, que condujeron a una paulatina pero sostenida mejora tecnológica a lo largo del siglo XX. Finalmente, se discute el estado actual de la energía fotovoltaica, y se hace una prospectiva de su evolución futura.

INTRODUCCIÓN: UN SISTEMA ENERGÉTICO BASADO EN EL FUEGO

Desde la introducción de la máquina de vapor en el siglo XVIII, pero sobre todo desde finales del siglo XIX, con el desarrollo de la electricidad y el motor de combustión interna, el ser humano no ha dejado de aumentar exponencialmente su consumo energético. Si en 1970 el consumo per cápita de energía primaria en España estaba en torno a los 40 kWh/día, en la actualidad esa cifra supera los 93 kWh/día, es decir, más del doble que hace 50 años, aunque todavía muy lejos de los 220 kWh/día que consume en promedio un norteamericano (Ritchie, 2018). Actualmente, alrededor del 85% de la energía primaria mundial procede de combustibles fósiles (carbón, petróleo, gas). Entre otros efectos medioambientales negativos, que no son objeto de esta ponencia, este desahogado consumo de combustibles fósiles ha hecho que las emisiones globales de CO₂ a la atmósfera hayan pasado de unos 200 millones de toneladas/año en 1850 a más de 36.000 millones de toneladas/año en la actualidad (diez veces más que hace un siglo).

De toda la energía primaria consumida, sólo entre el 60%, para países que consumen mucho carbón o petróleo, como Australia o Méjico, y el 80%, para países en vías de desarrollo cuyo abastecimiento energético es fundamentalmente hidráulico, como Brasil, acaba llegando al consumidor final como energía utilizable (la República Democrática del Congo alcanza excepcionalmente el 95%). El resto se pierde durante los procesos de extracción, transformación, transporte, etc., lo que da una idea de lo ineficiente que resulta el sistema energético vigente. Por ejemplo, la generación eléctrica a partir de carbón o gas tiene una eficiencia promedio de poco más del 30%, si bien para los modernos ciclos combinados de gas esta cifra se sitúa en torno al 50%, y sólo en las relativamente pequeñas centrales de cogeneración, donde se aprovecha simultáneamente la electricidad y el vapor para procesos industriales, el rendimiento llega al 80%. A ello hay que sumar que buena parte de la energía final también se desperdicia, cuando se utiliza en sistemas de conversión de energía térmica en mecánica, por su propia naturaleza poco eficientes. Por ejemplo, la eficiencia tanque-rueda de los vehículos ligeros actuales, que utilizan motores de combustión, varía entre el 15% para los más antiguos y el 30% para los modernos diseños híbridos (Smil, 2017).

Amén de un aumento notable de la eficiencia en el uso de la energía, puesto que el vector energético más afín a las energías renovables es la electricidad, hoy día se considera que el objetivo de descarbonizar la economía pasa necesariamente por: 1) electrificar lo más posible el consumo energético; y 2) lograr que prácticamente toda la producción de electricidad sea renovable. Si actualmente sólo entre el 15 y el 25% de energía final consumida se hace en forma de electricidad, el objetivo sería incrementar dicho porcentaje hasta niveles superiores al 75-80%, lo cual supone un gran desafío técnico y económico porque obligará a cambiar radicalmente casi todos los procesos productivos y medios de transporte, empezando por el vehículo privado. En el caso de España, de los 59 kWh/día de energía final consumida per cápita, sólo 13,9 kWh/día se consumen en forma de electricidad (el 23,6%). Ello conduce a una potencia eléctrica promedio de 580 W per cápita, lo que supone entre 7 y 8 veces el consumo energético basal del ser humano. Como referencia anecdótica, nuestro gran deportista Miguel Induráin era uno de los pocos seres humanos capaces de dar una punta de potencia de 500 W durante breves intervalos de tiempo, lo cual es un valor estratosférico si se considera que un animal de tiro de 800 kg desarrolla en promedio menos de 700 W.

Durante 2019, sólo el 26% de electricidad producida a nivel mundial fue de origen renovable, la mayor parte hidráulica (19%). Sin embargo, desde la última década del siglo XX, la producción de electricidad renovable no ha hecho más que crecer, aunque todavía no lo hace a la velocidad suficiente. Si hasta hace unos años, el principal protagonista de dicho crecimiento era la generación eólica, en la actualidad la tasa de crecimiento anual de la producción fotovoltaica (FV) casi duplica la de la eólica, estimándose que en 2022 la potencia global instalada FV superará a la eólica, actualmente en el entorno de los 700 GW a nivel mundial. España, con un recurso hidráulico destacable en comparación con sus vecinos, produce entre un 35% y un 43% de energía eléctrica renovable, dependiendo de las condiciones meteorológicas de cada año (37% en 2019), más del 75% de la cual procede ya de energía solar y eólica (Red Eléctrica, 2020).

Para concluir esta sección, podemos afirmar que la civilización actual se sustenta en la combustión de materia fósil extraída de la corteza terrestre (combustión interna, en el caso de los motores de combustión, o externa en el caso de las centrales eléctricas), lo que no es más que una versión moderna, técnicamente más sofisticada, del fuego que nuestros ancestros empezaron a aprovechar hace unos 800.000 años. Pero desde hace unas décadas, el ser humano ha constatado que este modelo económico-energético no es sostenible en el largo plazo, y busca alternativas al *status quo* actual que le permitan seguir creciendo de manera compatible con la biosfera.

En lo que resta de este capítulo veremos cómo la energía solar FV, cuyo origen se remonta, como casi todos los inventos, al siglo XIX, está viviendo en la actualidad una fase de crecimiento exponencial, superando incluso a otras fuentes renovables como la eólica, que sin duda la convertirá en menos de dos décadas en la principal fuente de abastecimiento energético en un mundo descarbonizado. En gran medida, esta fuente inagotable de energía será la responsable de que el ser humano, por fin, abandone para siempre el uso del fuego como principal y casi único recurso energético.

EL EFECTO FOTOVOLTAICO: BREVE HISTORIA

En 1839, el científico francés Alexandre-Edmond Becquerel, conocido por sus trabajos en luminiscencia y fosforescencia, y padre de Henri Becquerel, quien recibió el Nobel en 1903 junto a los esposos Curie por sus trabajos sobre radiactividad, realizó un experimento que permitió constatar por primera vez el efecto FV en un medio líquido. En un recipiente negro, relleno de una solución ácida, colocó dos electrodos de platino recubiertos de sales de plata, y los separó por una membrana. Al aplicar luz sobre los electrodos, descubrió que circulaba una corriente por el circuito externo, que desaparecía cuando la luz se eliminaba (Chu, 2019).

En 1877, a partir de un trabajo previo del británico W. Smith, que había estudiado la sensibilidad del selenio a la luz, W.G. Adams y R.E. Day observaron por primera vez el efecto FV en un medio sólido¹, en este caso una unión de platino con selenio dentro de una ampolla de vidrio que recuerda bastante a las válvulas de las radios primitivas (Adams, 1877). Como tantas otras veces, el descubrimiento fue casual, porque lo que inicialmente investigaban era el efecto de la luz sobre la corriente eléctrica que circulaba por el dispositivo, al ser alimentado por una batería, y la sorpresa se produjo cuando, al eliminar la batería, descubrieron una corriente que “espontáneamente” circulaba en sentido inverso.

Seis años más tarde, en 1883, el americano C.E. Fritts publicó el resultado de sus investigaciones con lo que podría considerarse la primera célula solar de película delgada de la historia (por su constitución y formato), compuesta por una fina capa de selenio

1. Por aquella época denominado también “fotoeléctrico”, un fenómeno relacionado pero diferente descubierto por H. Hertz medio siglo después y justificado teóricamente por A. Einstein en su artículo de 1905 sobre la teoría cuántica de la luz, que le valió el premio Nobel.

(unas 25 micras), a modo de sándwich entre dos láminas metálicas (Green, 1990). Fue además el primero en construir una instalación FV completa sobre un tejado neoyorquino, con la que consiguió una eficiencia cercana al 1% (muy lejos aún de las cifras actuales).

FIGURA 1
PRIMERA INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA EN UNA CUBIERTA DE NUEVA YORK,
REALIZADA EN 1884 POR C. FRITTS (PERLIN, 2013)



Habría que esperar hasta los años 50 del siglo pasado para lograr el siguiente avance relevante en tecnología FV, al calor de los por entonces incipientes desarrollos en fabricación de dispositivos semiconductores de estado sólido (diodo y transistor). A mediados de esa década, un equipo de los laboratorios Bell dirigido por W. Shockley, que obtuvo el Nobel de Física en 1956 por el descubrimiento del transistor, observó el fenómeno FV al iluminar la unión p-n de un diodo de silicio, especialmente construido para este propósito. La primera demostración pública de una célula FV usando este dispositivo se produjo en 1954, consiguiéndose una eficiencia de entre el 4.5 y 6%.

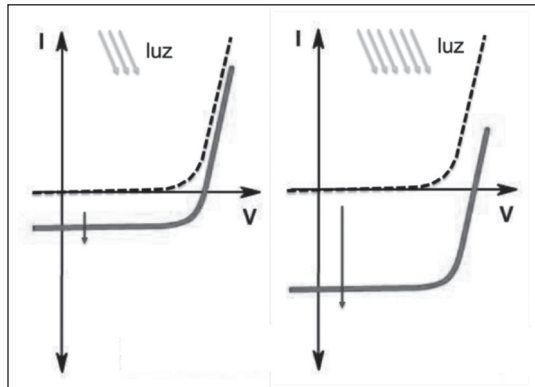
Este desarrollo constituyó el punto de partida de las modernas células FV, tal como las conocemos en la actualidad, a través de sucesivas mejoras en los procesos de fabricación, y dio muy pronto lugar a las primeras aplicaciones de la energía FV en el campo de los satélites artificiales, como se explica en las siguientes secciones (Green, 1990).

Amén de las referencias citadas a lo largo de esta sección, se remite al lector interesado al más clásico de los libros sobre energía solar (Perlin, 2013), donde podrá encontrar abundante información sobre otros usos de esta fuente energética, más allá de la FV.

LA CÉLULA FV SEMICONDUCTORA

Como se ha comentado anteriormente, las actuales plantas FV terrestres se basan en alguna variante del diodo semiconductor de silicio, construido de tal modo que su unión p-n quede expuesta a la mayor cantidad de radiación posible. Un diodo convencional no permite el paso de corriente inversa, es decir, la circulación interna de electrones entre el ánodo (terminal p) y cátodo (terminal n), debido a lo que se conoce como *potencial de la unión*, que se forma en una estrecha franja donde se recombinan electrones y huecos (zona de difusión). En cambio, si se aplica un potencial positivo ánodo-cátodo, una vez superado el umbral dictado por el potencial de la unión, los electrones fluyen con mucha facilidad del cátodo al ánodo (corriente directa).

FIGURA 2
DESPLAZAMIENTO DE LA CURVA TENSIÓN-CORRIENTE DE UN DIODO SEMICONDUCTOR EN FUNCIÓN DE LA CANTIDAD DE LUZ RECIBIDA. LA LÍNEA NEGRA A TRAZOS MUESTRA LA CURVA ORIGINAL, EN AUSENCIA DE LUZ

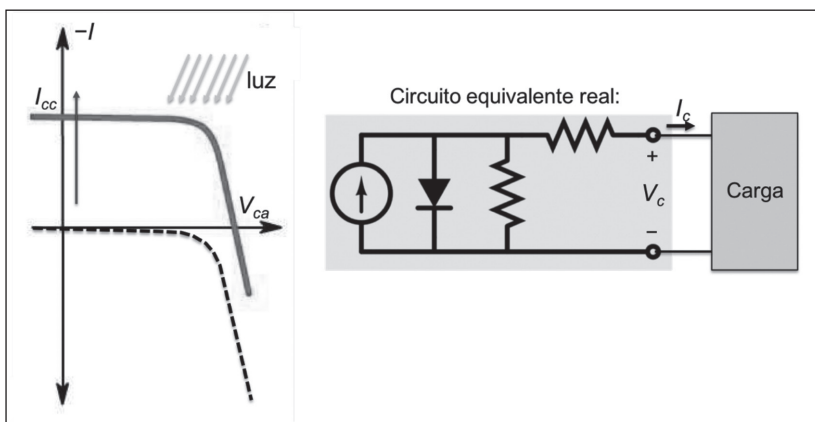


Este comportamiento fuertemente no lineal del diodo, que se comporta como un auténtico interruptor controlado por tensión (abierto para tensiones inversas, cerrado para tensiones directas), se aprecia en la línea negra a trazos de la Figura 2. Pues bien, el efecto de los fotones que inciden localmente en la unión es el de aumentar la cantidad de electrones que pasan de la banda de valencia a la banda de conducción, en proporción a la intensidad de la radiación incidente. Una fracción de esta población de electrones libres se recombina de nuevo con los huecos creados, desperdiciándose, pero la gran mayoría provoca una corriente inversa en el diodo capaz de circular a través de un circuito exterior (línea roja en la Figura 2).

De este modo, el diodo p-n, que en ausencia de luz es un elemento pasivo, se comporta como una fuente de energía eléctrica, con una curva tensión-corriente no lineal como la mostrada en la Figura 3, donde la referencia de polaridad para la corriente (eje vertical) se ha cambiado de signo para reflejar su naturaleza activa (fuente de corriente).

En la figura se muestra así mismo el circuito equivalente de una célula solar, donde además del diodo p-n ideal aparece la fuente de corriente (producida por el efecto de los fotones) y sendas resistencias serie y paralelo que reflejan las pérdidas óhmicas y las debidas a la recombinación interna, respectivamente.

FIGURA 3
CURVA TENSIÓN-CORRIENTE DE UNA CÉLULA SOLAR Y CIRCUITO EQUIVALENTE



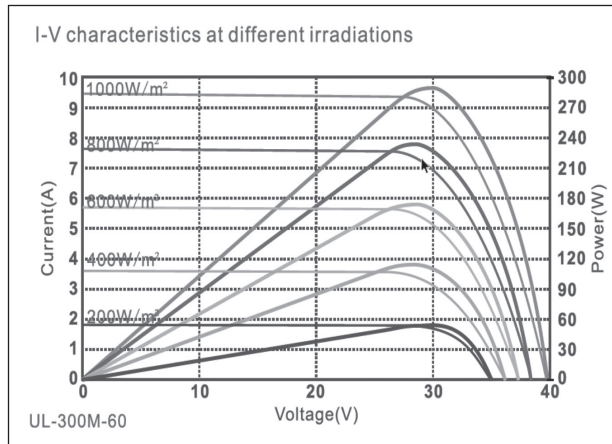
Nótese que, si se anula la fuente de corriente (o sea, la iluminación), la célula solar se comporta como un diodo normal (línea negra a trazos), que apenas deja circular la corriente en sentido cátodo-ánodo. Este hecho tiene enorme trascendencia en la práctica, puesto que las instalaciones FV reales se componen de un número elevado de células conectadas en serie (denominados *strings* en la jerga de los instaladores), a su vez conectadas entre sí en paralelo, para incrementar la corriente total. Si una sola célula de un *string* quedase en sombra, dicha célula prácticamente anularía toda la cadena, amén de sufrir un calentamiento que la podría destrozar en poco tiempo. Por dicho motivo, se conectan en anti-paralelo, con subconjuntos pequeños de células en serie, los llamados diodos *free-wheeling*, que permiten libremente el paso de la corriente creada por el resto de células que no están en sombra.

A circuito abierto (corriente nula), la célula mantiene entre sus terminales un voltaje máximo, V_{ca} , mientras que en cortocircuito (voltaje nulo), la célula es capaz de dar una corriente máxima, I_{cc} (Figura 3). La potencia eléctrica que la célula suministra al exterior, producto del voltaje por la corriente, presenta consecuentemente un valor máximo, tal como se muestra en la Figura 4 para un panel comercial real de 300 W de potencia pico², compuesto por 60 células, que ocupa una superficie total de 1,64 m². Una de las

2. La “potencia pico” es un valor estándar de potencia obtenido cuando la célula se somete a una radiación de 1000 W/m². Se distingue de la potencia real suministrada en otro punto cualquiera de operación añadiendo la letra “p” a las unidades del sistema métrico, p.e. Wp, kWp, MWp, etc.

funciones de los convertidores electrónicos asociados a las placas FV, amén de convertir la corriente continua en corriente alterna (en los casos que se requiera conectar a la red), consiste precisamente en lograr que la instalación FV trabaje en el punto de máxima potencia.

FIGURA 4
CURVAS TENSIÓN-CORRIENTE Y POTENCIA DE UN PANEL COMERCIAL DE 300 WP,
PARA DIFERENTES NIVELES DE RADIACIÓN SOLAR



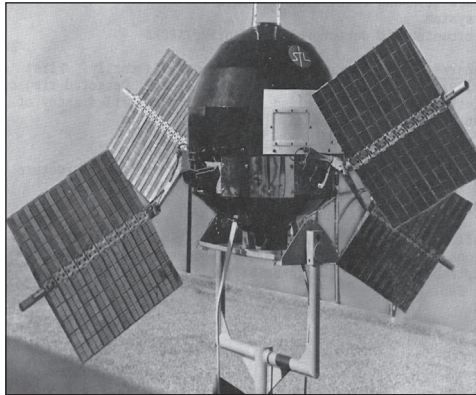
APLICACIONES PIONERAS DE LA FV

Solo cuatro años después de que el equipo de los laboratorios Bell patentase su célula solar de silicio, el satélite artificial norteamericano Vanguard I, lanzado en 1958, empleó por primera vez esta tecnología para alimentar sus sistemas eléctricos y electrónicos, con varias células FV que en total no superaban un vatio. Este pequeño satélite de 1,5 kg, todavía hoy en órbita, estuvo operativo durante 6 años, frente a los satélites anteriores (Sputnik I y II y Explorer I), alimentados exclusivamente por baterías, que se “apagaron” a las escasas semanas de lanzarse.

El éxito de esta experiencia fue de tal magnitud, que los paneles FV se convirtieron en un componente imprescindible de todo satélite artificial con vocación de enviar información a la tierra de forma sostenida y duradera. La Figura 5 muestra los paneles del Explorer 6, puesto en órbita sólo un año más tarde, compuestos por 9.600 células agrupadas en cuatro paneles (desplegables en órbita).

El exponente más sofisticado y reciente de esta pionera aplicación de la tecnología FV es la Estación Espacial Internacional, alimentada por 2.500 m² de paneles FV con una potencia total de 120 kWp, los cuales la hacen visible a simple vista desde la tierra al amanecer o atardecer.

FIGURA 5
SATÉLITE EXPLORER 6, CON SUS CUATRO PANELES FV COMPUESTOS POR
CASI 10.000 CÉLULAS
[Fuente: https://en.wikipedia.org/wiki/Solar_cell#/media/File:Explorer_6_paddles_up.jpg]



Además de los satélites artificiales, los por entonces carísimos y poco eficientes paneles FV encontraron varios nichos de aplicación en estas primeras décadas, cuando no era posible o resultaba muy caro utilizar otros sistemas de alimentación de electricidad. Tal es el caso por ejemplo de las boyas de navegación marítima o de los sistemas de telecomunicaciones instalados en lugares remotos, como los repetidores que por entonces se empezaron a utilizar en Norteamérica para llevar la señal de TV a zonas rurales (Figura 6). En este tipo de aplicaciones, la única alternativa posible hasta entonces era utilizar pequeños grupos electrógenos, con depósitos de combustible que debían ser rellenados periódicamente, y con un mantenimiento muy costoso (Hirokane, 2010).

FIGURA 6
INSTALACIÓN FV EN UN REPETIDOR DE MICROONDAS EN ARIZONA, 1976
(PERLIN, 2013)



Paradójicamente, la industria petrolera, que tradicionalmente se ha opuesto de manera frontal al despliegue de las energías renovables, por evidentes intereses económicos, también contribuyó en sus comienzos al desarrollo de la tecnología FV, puesto que una de sus primeras aplicaciones terrestres fue alimentar instalaciones de señalización óptica y acústica en plataformas petrolíferas (la multinacional Exxon ya las utilizaba en los años 70 en el Golfo de Méjico), o la protección catódica de pozos petrolíferos y oleoductos.

La positiva experiencia de estas aplicaciones pioneras en lugares aislados, y la paulatina mejora de los paneles, todavía muy caros, hizo que entre los años 70 y 80 se llevaran a cabo varios desarrollos en países sin una infraestructura adecuada (República Dominicana, Vietnam, India, Kenia, etc.), orientados generalmente a proveer de electricidad a pequeñas aldeas para servicios básicos (bombas de agua, iluminación, frigorífico, etc.). Un ejemplo interesante en este sentido fue el despliegue realizado en 1978 por la Comisión Francesa de Energía Atómica en Tahití (Polinesia francesa), quizá en un intento de compensar a la población local por la servidumbre y daños ocasionados, a raíz de los numerosos ensayos nucleares que habían realizado durante años los franceses en esa región (uno de tantos episodios oscuros de la historia del armamento nuclear).

Incluso en países ricos, poco a poco empezó a considerarse en ciertos círculos la posibilidad real de que la FV tuviese un papel relevante en el abastecimiento energético, sobre todo a partir de las sucesivas crisis del petróleo de los años 70. Fue en esa época cuando el concepto de “arquitectura solar” (asociado a los llamados edificios de energía casi nula) empezó a tomar cuerpo. Uno de los ejemplos más destacados y estudiados en este ámbito fue el proyecto de S. Strong para la “Carlisle House” en Massachusetts (1980), que amén de 10 m² de paneles termo-solares para calentamiento de agua, tenía la cara sur del tejado cubierta con unos 100 m² de placas FV (7,5 kWp, que hoy día ocuparían la tercera parte), en base a un diseño del MIT (Perlin 2013).

La primera planta FV que superó 1 MWp se instaló en California (1982), la cual alcanzó nada menos que el 27% de eficiencia mediante un sistema de seguimiento a dos ejes con lentes Fresnel. Por su parte, Alemania fue pionera en Europa, con el lanzamiento en 1989 del programa denominado “1.000 tejados”, con el cual se llegaron a montar unas 2.500 instalaciones en viviendas que se beneficiaron de una subvención del 75% de la inversión. Diez años más tarde, lanzó un programa mucho más ambicioso (100.000 tejados), en esta ocasión incentivado con jugosas primas a la producción (*feed-in-tariffs*), que se prolongó hasta 2003. Lo que siguió después se explica más adelante (Panorama actual de la FV).

TIPOS DE CÉLULAS FOTOVOLTAICAS

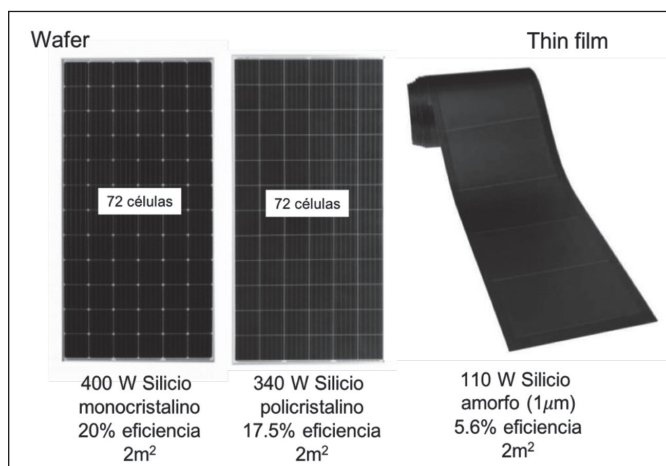
Prácticamente todos los paneles FV terrestres instalados en la actualidad utilizan como base el silicio, en alguna de las tres modalidades mostradas en la Figura 7. Las células de silicio monocristalino se fabrican siguiendo esencialmente el mismo procedimiento que el utilizado para circuitos electrónicos integrados (*chips*). Básicamente se

hace crecer un lingote cilíndrico de silicio, que luego se corta en finas láminas (oblas), las cuales se dopan en la proporción adecuada con compuestos trivalentes o tetravalentes para conseguir el efecto semiconductor (p y n). Este proceso es complejo y relativamente caro, aunque en los últimos años se ha abaratado considerablemente, pero también el que conduce a células de mayores eficiencias de entre las que usan silicio.

Más barato, aunque también menos eficiente, resulta fabricar células de silicio policristalino, que como su propio nombre indica está compuesto por numerosos cristales, orientados aleatoriamente y apreciables a simple vista.

Finalmente, todavía en fase de experimentación y desarrollo, se fabrican paneles de silicio amorfo, en forma de película delgada (alrededor de 1 micra), con los que todavía sólo se alcanza una eficiencia 3 o 4 veces inferior a la de la tecnología rígida (cristalina), cuya principal ventaja es que, al ser flexible, se puede adaptar a diferentes superficies y formatos.

FIGURA 7
TIPOS DE CÉLULAS FV DE SILICIO



Además de las células de silicio, basadas en la unión p-n de un solo compuesto (homounión) los investigadores y fabricantes no han dejado de experimentar continuamente con combinaciones de dos o más elementos diferentes, que dan lugar a las células conocidas como heterounión. Este es el caso por ejemplo de las células de Arseniuro de Galio (GaAs), en las que el potencial de la unión se consigue poniendo en contacto un compuesto tetravalente con uno pentavalente, o las de Teluro de Cadmio (CdTe), donde se conjuga un elemento bivalente con otro hexavalente. En una sección posterior se abordarán brevemente las nuevas tecnologías de células y paneles FV (bifaciales, multiunión, etc.).

PANORAMA ACTUAL DE LA ENERGÍA FV

Hasta hace escasos años, el desarrollo de la energía FV ha estado condicionado fuertemente por la abundancia y relativamente bajo coste de los combustibles fósiles. Evidentemente, a diferencia del vertiginoso desarrollo que vivieron otras tecnologías de finales del siglo XIX (radio, teléfono, turbina de vapor, motor de combustión, etc.), los casi 100 años transcurridos desde la pionera instalación FV de C. Fritts sobre un tejado neoyorquino, hasta las primeras plantas desplegadas en zonas remotas de África o Asia, sólo se explican por el escaso interés socioeconómico en una fuente de energía que no podría competir, o eso se creía entonces, con los combustibles fósiles. Todo ello a pesar de que, ya en 1931, un anciano T. Edison llegó a afirmar, con el olfato para los negocios que siempre le caracterizó, “yo pondría mi dinero en la energía solar. Qué fuente de energía! Espero que no tengamos que esperar a que el petróleo y el carbón se agoten para abordar esto”.

Más allá de las testimoniales instalaciones en zonas rurales, la primera oportunidad real para la energía solar en general, y la FV en particular, se produjo en los años 70, con las sucesivas crisis del petróleo que hicieron tambalear el sistema económico y encarecer notablemente la cesta de la compra, con subidas repentinas del precio de la gasolina del 400% en países como EEUU. En efecto, esta difícil coyuntura contribuyó al masivo despliegue de las centrales nucleares, y trajo consigo sistemas de generación térmica más eficientes, como las centrales de gas de ciclo combinado (por añadidura menos contaminantes que las clásicas centrales de carbón), pero también reactivó el interés por las energías renovables, incluyendo la solar, que a pesar de haber vivido un periodo prometedor en las primeras décadas del siglo XX había quedado relegada casi por completo al reducido nicho de aplicaciones mencionadas anteriormente (aeroespacial, zonas remotas). No es por casualidad que el gobierno federal norteamericano crease precisamente en 1977 el *National Renewable Energy Laboratory* (NREL), que junto al *Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme* (ISE) alemán (1981) constituyen dos de las instituciones más relevantes en estos ámbitos.

Arco Solar fue la primera compañía con capacidad para producir más de un megavatio de potencia de módulos solares al año, con una eficiencia que por entonces (1980) estaba alrededor del 10%. En 1982, dicha empresa construyó en Hisperia (California) la primera instalación FV de 1 MWp, compuesta por 108 módulos con seguimiento a dos ejes. Poco después (1984), en otro lugar de California (Carrizo Plain), se construyó una planta FV de 5,4 MW. Podemos afirmar, por tanto, que la industria FV propiamente dicha, al menos para aplicaciones terrestres, tiene sólo unos 40 años de vida (Jewell, 1988), aunque su origen sea muy anterior (140 años).

Pero una vez superadas las sucesivas crisis del petróleo, la energía solar cayó de nuevo en el ostracismo. El interés por las energías renovables, sobre todo la eólica, volvió a renacer a mediados de los 90, cuando el mundo empezó a tomar conciencia del problema del cambio climático por las emisiones antropogénicas de CO₂ ocasionadas principalmente por los combustibles fósiles, coincidiendo también con la entrada en la arena política de grupos ecologistas como Greenpeace (fundada en 1971). La ONU

crea el IPCC (Panel Intergubernamental del Cambio Climático) en 1988, y la primera Conferencia de las Partes (CP1) tiene lugar en Berlín en 1995 (aunque la más conocida es sin duda la CP3, que tuvo lugar en Kyoto en 1997).

Como se comentó anteriormente, Alemania puso en marcha en 1989 el programa conocido como “1.000 tejados”, seguido en 1999 con el más ambicioso “100.000 tejados”, dotado con generosas primas a la producción FV, en parte todavía vigentes. Varios años más tarde (2007-2008), tanto Alemania como España destacaron en el panorama internacional por el importante apoyo económico al despliegue masivo de plantas FV, aunque con notables diferencias entre ambos modelos, a favor del *Energiwende* alemán. En 2008, con unas 60 plantas de más de 10 MW, España se convirtió fugazmente en líder de este tipo de instalaciones sobre suelo, mientras que en Alemania la regulación favoreció las plantas más pequeñas sobre tejados. Sin embargo, esto fue un espejismo, y tras un insostenible déficit en el balance del sector eléctrico, ocasionado por una pésima regulación, España apenas instaló más FV en la siguiente década. Nos sirve en parte de consuelo que España sigue siendo líder en potencia instalada de centrales termosolares, tecnología que ha quedado eclipsada y en gran medida superada por el drástico abaratamiento y mejoras de la energía FV.

Con aproximadamente una década de retraso, la energía FV ha seguido la senda de crecimiento exponencial que también ha vivido la eólica. A nivel mundial, la contribución a la energía primaria de la eólica se multiplicó por 10 entre 2000 y 2010 (pasando del 0.1% al 1%, aproximadamente), y algo parecido ha ocurrido con la FV entre 2010 y 2020.

Si en lugar de la energía primaria nos centramos en la producción eléctrica, los más de 600 GWp de potencia FV global acumulada suponen más de 30 veces la que se había instalado hace una década, con tasas de crecimiento anual por encima del 25% (bastante superior a la de los teléfonos móviles). Por tanto, aunque en la actualidad la energía solar sólo supone alrededor del 8% del total de electricidad producida a nivel mundial, si se mantienen las tasas de crecimiento actuales y no surgen obstáculos regulatorios, la producción FV se duplicará aproximadamente cada tres años.

En España, por ejemplo, donde apenas se instalaron unos cuantos megavatios FV al año entre 2010-2018, la potencia FV instalada prácticamente se duplicó en 2019, pasando de 4,7 a 8,6 GW, debido principalmente a la nueva legislación que derogó el famoso “impuesto al sol”³. Muy pronto la potencia FV acumulada mundial superará a la eólica, y todo indica que las diferencias seguirán aumentando a pesar de que la eólica seguirá creciendo, sobre todo en ámbitos *off-shore*.

Una característica distintiva de las energías renovables, frente al sistema anterior basado en combustibles fósiles, es su naturaleza distribuida o difusa, que encaja perfectamente con el carácter modular de las tecnologías desarrolladas para aprovechar estos

3. En efecto, el RD-15/2018 de 5 de octubre, aprobado siendo Secretario de Estado de Energía el ingeniero industrial José Domínguez Abascal, a la sazón Académico de la RAI y de la RASC, además de eliminar el popularmente conocido como “impuesto al sol”, reguló el autoconsumo compartido y simplificó notablemente los trámites administrativos y técnicos del autoconsumo.

recursos, sobre todo la FV. Esta peculiaridad, que hace dos décadas se consideraba el peor inconveniente de las renovables, supuestamente porque impedía aprovechar lo que los economistas llaman “economía de escala”, ha mostrado a la postre ser una de sus principales ventajas. La razón de esa aparente contradicción radica en que, mientras que la economía de escala en los sistemas fósiles centralizados surge principalmente del incremento de eficiencia conforme crece el tamaño de la planta (o sea, una planta de gas de 1000 MW es más eficiente que 10 plantas de 100 MW), en el caso de las renovables la reducción de costes se produce por la producción masiva de sistemas modulares idénticos (paneles FV o turbinas eólicas), de manera similar a lo que ocurrió con la fabricación en serie de automóviles a comienzos del siglo XX (cuantos más paneles FV se fabrican, más baratos resultan).

Lógicamente, además del coste de fabricación de componentes, los costes unitarios de instalación siempre son menores en plantas grandes que en plantas pequeñas. Ello explica, junto a los intereses económicos de las grandes corporaciones y fondos de inversión, por qué están proliferando cada vez más las grandes plantas FV “centralizadas”, frente a las pequeñas instalaciones distribuidas, generalmente sobre tejado, que estando más próximas al consumo resultarían en teoría más beneficiosas para el sistema.

La figura 8 muestra la imagen de satélite de una de las primeras plantas FV con una potencia instalada similar a la de los reactores nucleares actuales (850 MW), construida en 2015 junto a la central hidráulica de 1.280 MW en Longyangxia (China). Este tipo de hibridación de tecnologías renovables es muy recomendable, porque permite gestionar el siempre escaso recurso hidráulico en función de la producción (no controlable) de la planta FV. La planta de Longyangxia Dam fue la mayor del mundo durante escasos meses, porque muy pronto fue superada por otras plantas en India y China, que en la actualidad superan 1,5 GW de potencia.

En el otro extremo del espectro de instalaciones FV se encuentran las instalaciones sobre tejados o cubiertas, bien de viviendas en zonas residenciales (inferiores a 10 kW), o en polígonos industriales y zonas de servicios (generalmente no superiores a 100 kW). Este tipo de instalaciones resultaban muy caras hace escasos años, por lo que en países como Alemania y España recibían una jugosa prima por la venta de energía al sistema (o bien desgravaciones fiscales a la inversión, como en EEUU), pero en la actualidad son totalmente rentables en países con suficiente recurso solar, simplemente como forma de reducir la factura eléctrica (autoconsumo).

Como se indicó anteriormente, el coste unitario de las grandes plantas FV conectadas a las redes de alta tensión es bastante inferior al de las plantas distribuidas sobre tejado, y muchos gobiernos organizan subastas anuales para modular y ordenar la progresión de potencia instalada, con vistas a cumplir sus propios objetivos de descarbonización, reflejados por los países de la UE en sus respectivos Planes Nacionales Integrados de Energía y Clima (PNIEC). Estas subastas competitivas han reducido notablemente los costes de las pujas ganadoras, en paralelo a la drástica reducción de costes que ha vivido el sector FV, superior al 90% en instalaciones de gran escala durante la última década.

En España y muchos otros países, incluyendo algunos donde la combustión de carbón ha sido tradicionalmente una fuente importante de electricidad, como Australia,

FIGURA 8
IMAGEN DE SATÉLITE DE LA PLANTA FV LONGYANGXIA DAM SOLAR PARK (CHINA),
DE 850 MW, UBICADA JUNTO A UNA CENTRAL HIDRÁULICA DE 1.280 MW.



FIGURA 9
BARRIADA RESIDENCIAL DE UNA CIUDAD ALEMANA, DONDE CASI TODAS LAS
VIVIENDAS HAN INSTALADO PANELES FV SOBRE TEJADO PARA AUTOCONSUMO



Alemania o China, las energías eólica y FV están reemplazando de forma cada vez más acelerada a las centrales de carbón, que desaparecerán mucho antes de lo previsto hace menos de cinco años. Concretamente, en España, la producción basada en carbón prácticamente desaparecerá a finales de 2020, cuando en 2018 produjo el 13,5% de la electricidad. En el mismo lapso de tiempo, la producción FV prácticamente se ha duplicado.

EL FUTURO DE LA FOTOVOLTAICA: ELECTRICIDAD SIN FUEGO

Casi todos los expertos de diversos sectores coinciden en que la energía FV tiene un gran futuro por delante, y que acabará siendo globalmente el principal componente del mix eléctrico, y por tanto del conjunto de la energía final consumida, donde la electricidad deberá tener un peso mucho mayor si de verdad queremos conseguir emisiones nulas a lo largo del siglo XXI (Irena, 2019). Para acelerar esta transición hacia un mundo basado principalmente en energía solar, deben conjugarse sucesivas mejoras tecnológicas en aspectos aún sin resolver satisfactoriamente, como el almacenamiento de energía renovable, así como una adecuada regulación que atraiga y facilite inversiones masivas hacia el sector energético.

En el aspecto regulatorio, los principales temas que resultarán determinantes para el futuro de la FV, en opinión del autor, son los siguientes:

1) Un adecuado diseño y coordinación de los mecanismos de subastas actualmente en boga, con otras fuentes de recuperación de la inversión, tales como los mercados mayoristas de electricidad o los contratos bilaterales con grandes clientes (conocidos como *Power Purchase Agreements*, o PPAs). En este sentido, los inversores están muy preocupados con la participación de la FV en los actuales mercados mayoristas de electricidad, que fueron diseñados hace 25 años sin tener en cuenta las peculiaridades de los generadores renovables, por el denominado efecto “caníbal”⁴. Por ello, resulta urgente que cuanto antes se ponga en marcha un nuevo diseño de mercados mayoristas en todos los horizontes de tiempo (desde el mercado de servicios complementarios hasta los posibles mercados de potencia firme, pasando por el mercado horario de energía).

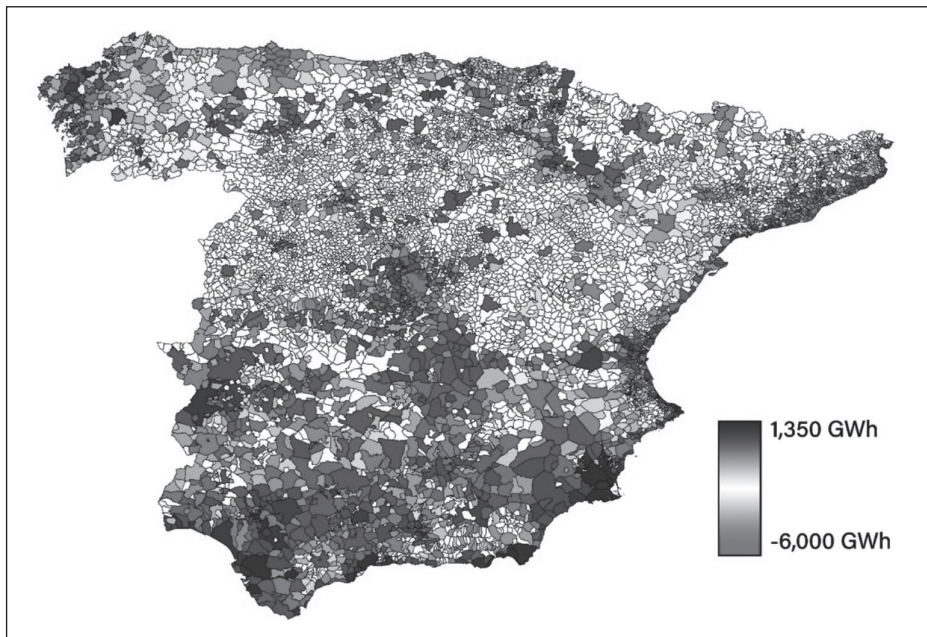
2) Un adecuado equilibrio regulatorio entre las plantas de gran tamaño, instaladas sobre suelo, y las pequeñas instalaciones instaladas sobre tejado, es decir, entre un modelo centralizado que pretende replicar el viejo modelo de instalaciones térmicas del pasado, cuya principal y casi única ventaja es la reducción de costes unitarios, o un modelo esencialmente distribuido, cuyas principales ventajas se derivan de su proximidad al consumo (mayor resiliencia, menor necesidad de despliegue de redes, mejor aprovechamiento de la superficie, etc.). La Agencia Internacional de la Energía (IEA, 2019), estimaba que la potencia FV sobre tejado instalada a finales de 2024 sería el 40% de un

4. El efecto de “canibalización”, como lo denominan los economistas, consiste en que conforme entran nuevos agentes a un mercado marginalista más o menos consolidado, con costes variables mucho más bajos que los existentes, los precios pueden llegar a bajar tanto que los entrantes no obtienen ingresos suficientes para recuperar la inversión.

total de 700 GW FV, comparable a toda la eólica *on-shore*. Pero teniendo en cuenta que ya a finales de 2019 se superaron holgadamente los 600 GW de FV, podemos concluir sin temor a equivocarnos que las previsiones de la burocrática agencia de la OCDE se quedan muy cortas, como suele sucederle históricamente en temas de renovables. Si el ritmo de crecimiento actual se mantiene, la potencia FV instalada globalmente a finales de 2025 debería estar en torno a los 1400-1600 GW, de los que entre 500-600 GW podrían estar distribuidos sobre tejado. El riesgo para algunos países radica en que los mecanismos de subastas y las presiones de los *lobbies* económicos conduzcan a un sistema donde casi toda la potencia FV instalada sea de gran escala (centralizada).

En el caso particular de España, recientes estudios indican que el potencial FV de las cubiertas de edificios en zonas urbanas es teóricamente suficiente para suministrar toda la electricidad consumida actualmente, más un 25% adicional que eventualmente podría consumir un parque de vehículos ligeros electrificados (Gómez-Expósito *et al.*, 2020). La Figura 10 muestra, a nivel municipal, el exceso (azul) o déficit (rojo) de energía anual en un hipotético escenario donde toda la electricidad proviniese de FV sobre tejado, donde puede apreciarse que más del 95% de municipios serían teóricamente autosuficientes solo con este recurso, suponiendo que existiese una forma de almacenar el exceso de energía del verano para ser usado en invierno, a un coste razonable.

FIGURA 10
MAPA PENINSULAR QUE MUESTRA EL DESCUADRE ANUAL ENTRE EL POTENCIAL DE GENERACIÓN FV SOBRE TEJADO DE CADA MUNICIPIO Y EL CONSUMO ELÉCTRICO ACTUAL DEL MISMO (EN ROJO LOS MUNICIPIOS DEFICITARIOS Y EN AZUL LOS EXCEDENTARIOS)



3) Una adecuada regulación de los sistemas de almacenamiento, que muchos consideran el “Santo Grial” de las renovables no gestionables, como la FV y la eólica. En efecto, en los futuros sistemas eléctricos, con una penetración renovable superior al 80-90%, será crítico poder almacenar los grandes excedentes de renovables que se producirán, de forma barata y en largos periodos de tiempo, para ser utilizados de noche o en invierno. En la actualidad, el almacenamiento está considerado prácticamente un simple instrumento de arbitraje de precios para generadores⁵, aunque la última directiva de la UE del “paquete de energía limpia (Comisión Europea, 2019), pretende cambiar este estado de cosas, siquiera sea tímidamente. Lo deseable sería que el almacenamiento tuviese identidad jurídica propia, y fuese considerado como un nuevo agente del sistema, diferenciado de los demás, con sus propios modelos de negocio, que en un mundo casi 100% renovable irán mucho más allá del arbitraje de precios.

En el aspecto tecnológico, se esperan todavía notables mejoras de rendimiento y reducción de costes en células FV, con la introducción de nuevos materiales y tecnologías de fabricación. Actualmente, la tecnología FV más cercana a su despliegue masivo es la basada en células bifaciales. Como su propio nombre indica, estas células están construidas en un formato especial, de forma que sean fotosensibles por ambas caras, lo cual les permite aprovechar el efecto albedo y cualquier radiación indirecta que pueda llegar a lo que sería la cara posterior en un panel FV convencional. Un reciente estudio de NREL (NREL, 2019) afirma que en condiciones óptimas (orientación adecuada en sistemas fijos, sistemas de seguimiento a un eje, mejorando el albedo de paredes y suelo, etc.), las células bifaciales pueden suministrar hasta un 25-30% más de electricidad que las convencionales, a igualdad de superficie y a un coste solo ligeramente superior. Hacia 2030, este mismo estudio prevé que más del 50% de instalaciones FV utilicen células bifaciales (lógicamente, las instalaciones literalmente pegadas al tejado no pueden beneficiarse de esta tecnología).

Otra tecnología en la que se está avanzando mucho en el laboratorio, aunque todavía no se aplica en instalaciones terrestres, son las células FV multiunión. Consisten en el solapamiento, a modo de sándwich, de varias uniones, generalmente de elementos trivalentes y tetravalentes, como el galio, indio, arsenio, etc., de modo que cada una de las uniones aproveche al máximo una determinada banda del espectro electromagnético, consiguiéndose así eficiencias teóricas mucho más elevadas (hasta del 70%) que la de las células convencionales de una sola unión (alrededor del 32-35%). Aparte de un coste elevado, y de la necesidad de usar seguimiento a dos ejes, las células multiunión actuales, utilizadas por ejemplo en las misiones a Marte, adolecen de usar componentes tóxicos y poco comunes en la corteza terrestre.

Este breve repaso a las futuras tecnologías FV no estaría completo si no se hiciese referencia a la extensa y diversa familia de las perovskitas, que algunos consideran

5. Las actuales centrales de almacenamiento por bombeo hidráulico, en las que España es una potencia, se introdujeron precisamente por este motivo, en paralelo al despliegue de centrales nucleares en el último cuarto del siglo pasado. Resultaba más barato hacer trabajar a las nucleares a plena potencia, y almacenar el excedente nocturno, que modular la potencia producida por dichas centrales para seguir a la demanda.

como la próxima revolución en células FV. La perovskita es un mineral natural (CaTiO_3 , titanato de calcio) encontrado por primera vez en los Urales en el siglo XIX⁵, con una estructura cristalina compleja que depende de la temperatura (cúbica, ortorrómbica, tetragonal, etc.). Por extensión, se denominan también perovskitas a ciertos compuestos sintéticos, generalmente mixtos (orgánicos e inorgánicos), que cristalizan en estructuras similares a las perovskitas naturales. Estos compuestos pueden presentar algunas propiedades interesantes, todavía objeto de estudio por los investigadores, como superconductividad, ferroelectricidad o magnetorresistencia, que los hace potencialmente útiles para la fabricación de sensores, memorias de ordenador, etc. También pueden ser depositados en finas capas, incluso sobre otras perovskitas, lo que los hace muy atractivos para la fabricación barata de paneles FV de película delgada, que podrían colocarse sobre cualquier superficie, no solo sobre tejados (MIT 2015). Este es el caso por ejemplo del $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_3$, utilizado en formato de película delgada o en tándem con otra unión de silicio, con el que se han logrado drásticas mejoras de eficiencia en el último lustro (del 3.8 al 20%). En la actualidad, las perovskitas están siendo objeto de numerosos estudios, orientados a eliminar los principales inconvenientes que todavía presentan, entre otros: 1) aún no se ha probado la posibilidad de fabricación a gran escala (los prototipos de laboratorio apenas superan 1 cm^2); 2) degradación con la humedad; 3) el problema de la toxicidad del plomo.

Para finalizar este capítulo, aportaremos algunas reflexiones sobre el futuro de la energía FV en España, un país privilegiado para esta fuente inagotable de energía, tanto por su latitud como por su densidad de población. Como se indicó anteriormente, tras una década en la que prácticamente la potencia FV instalada se había quedado estancada en unos 4,5 GW, en poco más de un año hemos superado los 9 GW, lo cual muestra meridianamente que, con la regulación adecuada, el sector industrial y financiero español tiene sobrada capacidad para lograr que España cumpla sus compromisos internacionales de descarbonización de la economía, al menos en lo referente al sector eléctrico.

El Plan Nacional Integrado de Energía y Clima (PNIEC) enviado por España a la CE, considerado por muchos como ambicioso, contempla que en 2030 tendremos unos 39 GW de potencia FV instalada, lejos de los 50 GW eólicos previstos pero muy por encima de los 7,3 GW de centrales termosolares (MITECO, 2019). Sin embargo, la industria del sector renovable muestra a las claras que el PNIEC ha infravalorado el potencial de la energía FV. Incluso sin tener en cuenta la posible y deseable contribución de la FV distribuida sobre tejado (véase la Figura 10 y la discusión anexa), a finales de julio de 2020 el operador del sistema eléctrico (REE) había analizado solicitudes de puntos de conexión de plantas sobre suelo por un total de 200 GW, de los cuales aproximadamente la mitad habían conseguido ya el permiso de acceso. Si la mitad de las solicitudes pendientes (unos 40 GW) son también aprobadas a lo largo de 2020-21, la cifra de plantas con puntos de conexión concedidos se elevaría hasta los 120 GW.

6. Posteriormente se han encontrado muchas otras perovskitas naturales, como el silicato de calcio (CaSiO_3), que proceden de la parte interior de la corteza terrestre y pueden no ser estables en la superficie, u otras variedades incluso sin oxígeno (p.e., perovskitas de flúor, NaMgF_3).

Aunque muchos analistas afirman que tras esta avalancha de solicitudes hay una burbuja especulativa, no es descabellado suponer que al menos dos tercios de dichas solicitudes, unos 80 GW, estarían en condiciones técnicas y financieras de materializarse, siempre que el entorno regulatorio fuese favorable, lo cual conduciría a unos 90 GW de potencia FV instalable hacia 2030, aproximadamente el 250% de lo previsto por el PNIEC. Si queremos desplegar toda esa potencia en una década, deberían construirse en número redondos unos 8 GW de FV cada año, lo cual supone el doble de lo instalado en 2019, que ha sido el año record en este tipo de tecnología. A los precios actuales, ello implicaría una inversión anual bastante asumible, de entre 4.000 y 5.000 millones de euros, a los que habría que sumar en todo caso el coste de los sistemas de almacenamiento.

Realmente, si pretendemos eliminar por completo la combustión de fósiles (salvo quizá la cogeneración por su mayor eficiencia) y las centrales nucleares, esa extraordinaria potencia FV, próxima a los 100 GW, compatible según REE con el sistema de transporte (supuesto que se realizan los refuerzos necesarios), sería a la vez necesaria y suficiente. La Tabla 1 muestra un hipotético mix eléctrico, en el que las previsiones del PNIEC para la FV se han modificado al alza de acuerdo al análisis anterior, que permitiría prescindir teóricamente de las centrales de ciclo combinado, supuesto que se despliegan los necesarios sistemas de almacenamiento (Gómez-Expósito *et al.*, 2020).

TABLA 1
PROPUESTA DE MIX ENERGÉTICO PARA 2030-2035, EN EL QUE LA ENERGÍA SOLAR
SUMINISTRARÍA APROXIMADAMENTE LA MITAD DE LA PRODUCCIÓN DE
ELECTRICIDAD

Tecnología	Potencia en 2020 (MW)	Potencia en 2030 (MW)	Factor uso	Energía anual (TWh)
Cogeneración	5.700	5.000	25%	10
Hidráulica	17.050	18.000	20%	30
Eólica	23.500	50.000	25%	110
Fotovoltaica	~ 9.500	~ 90.000	20%	155
Solar térmica	2.270	5.000	22%	10
Otras renovables	970	2.000	25%	5
Total	59.000	170.000		320

De acuerdo a los números aproximados mostrados en la Tabla 1, el 97% de la producción eléctrica sería renovable en dicho escenario (todo menos la cogeneración), y sólo la energía solar aportaría la mitad del consumo eléctrico del país. La producción total, unos 320 TWh, sería suficiente para abastecer el consumo actual (unos 255 TWh) más lo que hipotéticamente consumiría la flota actual de vehículos si se electrificase al 100% (unos 65 TWh). El almacenamiento necesario para que este hipotético sistema fuese factible en todas y cada una de las horas del año, dependería en gran medida de qué fracción de la generación se considera gestionable (es decir, trasladable en el

tiempo), y de hasta qué punto podemos ayudarnos de nuestros vecinos a través de interconexiones. Ignorando las interconexiones, así como el posible apoyo de los vehículos eléctricos, y suponiendo que sólo el 40% de la generación hidráulica (es decir, el 5% del consumo anual) es gestionable, se estima que el almacenamiento necesario rondaría los 350-400 GWh, equivalente a la mitad del consumo diario promedio de electricidad. En este punto, conviene hacer notar que un futuro parque de 25 millones de vehículos eléctricos, a razón de unos 40 kWh por vehículo, daría un total de 1.000 GWh de almacenamiento. Sólo con que un tercio de dicha capacidad estuviese conectada a la red, y disponible para ser inyectada al sistema, ya se dispondría de suficiente almacenamiento.

CONCLUSIONES

Hace 50 años, nuestro gran divulgador y ecologista, Félix Rodríguez de la Fuente, se preguntaba por qué el ser humano no ha encontrado ya “una nueva fuente de energía antes de que sea demasiado tarde” (Rodríguez de la Fuente, 2020, pgs. 305-306). Afirmaba que los “*lobbies* económicos multinacionales, ... no pueden ser tan insensatos ni tan suicidas como para tratar de frenar el desarrollo del automóvil eléctrico o la investigación y las inversiones en fuentes de energía solar o eólica”. Se refería, un tanto poéticamente, a la “belleza de la energía solar, ... una energía limpia, cayendo minuto a minuto, hora a hora”, que llegaría a ser “la energía más barata del mundo”, y añadía, “si exigimos a nuestros dirigentes que se investigue, se trabaje, se promocióne y se invierta en las energía limpias, *naturales*, aunque sigamos dependiendo algún tiempo de las energías convencionales, habremos dado un gran paso para mejorar la vida en nuestro planeta”. Qué proféticas palabras, cuyo cumplimiento no pudo siquiera vislumbrar, por su temprana muerte hace ahora 40 años.

Como hemos intentado explicar en este capítulo, contra lo que sugiere el adjetivo “natural”, usado por Rodríguez de la Fuente para referirse a las energías renovables, si algo caracteriza a la energía solar es precisamente la sofisticada tecnología que hay detrás, desarrollada durante los años 60 para satisfacer las necesidades de la incipiente industria espacial, pero que poco a poco se ha ido consolidando como una industria en sí misma. Gracias a la producción masiva de más de 100 GWp al año de paneles FV (cada GWp está compuesto por unos 200 millones de células FV), esta moderna industria, que desgraciadamente tiene sus fábricas fuera de España, ha logrado dividir los costes por más de diez en la última década, y crecer anualmente en potencia instalada por encima del 25%. Pero la energía FV tiene aún mucho recorrido por delante, con la introducción entre otras de la tecnología de película delgada, que cambiará por completo el aspecto de las futuras ciudades, donde no sólo tejados sino muchas fachadas, ventanas, etc., se convertirán también en superficies fotovoltaicas.

En gran medida, esta fuente inagotable de energía será la responsable de que el ser humano, por fin, abandone para siempre el uso del fuego como principal y casi único recurso energético. Sigamos disfrutando del fuego para actividades lúdicas, por ejemplo en el hogar de nuestras chimeneas, pero intentemos dejar a las futuras generaciones un mundo más habitable. Amén.

REFERENCIAS

- W. G. ADAMS, R.E. DAY (1877). The Action of Light on Selenium, *Proceedings of the Royal Society of London*, vol. 25: 113-117.
- E. CHU, D. LAWRENCE TARAZANO (2019). A brief history of solar panels, *Smithsonian Magazine*, versión en línea: <https://www.smithsonianmag.com/sponsored/brief-history-solar-panels-180972006/>
- COMISIÓN EUROPEA (2019). Directiva UE 2019/944 y Reglamento 2019/943, Versión en línea: <https://www.boe.es/doue/2019/158/L00125-00199.pdf>
- A. GÓMEZ-EXPÓSITO, A. ARCOS-VARGAS, F. GUTIÉRREZ (2020). On the potential contribution of rooftop PV to a sustainable electricity mix: The case of Spain, *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, Vol. 132, 110074.
- M. A. GREEN (1990). Photovoltaics: coming of age, *IEEE Conference on Photovoltaic Specialists*, Kissimmee (FL), USA.
- J. HIROKANE, ET. AL. (2010). History of contribution of photovoltaic cells to telecommunications, *Second Region 8 IEEE Conference on the History of Communications*, Madrid.
- IEA (2019). International Energy Agency, Market Report Series: Renewables 2019. Versión en línea: <https://webstore.iea.org/renewables-2019>
- IRENA (2019). Future of Solar Photovoltaic: Deployment, investment, technology, grid integration and socio-economic aspects. Versión en línea: https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2019/Nov/IRENA_Future_of_Solar_PV_2019.pdf
- W.T. JEWELL, R. RAMAKUMAR (1988). The history of utility-interactive photovoltaic generation, *IEEE Trans. on Energy Conversion*, vol. 3(3): 583-588.
- MITECO (2019). Plan Nacional Integrado de Energía y Clima 2021-30. Versión en línea: https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/spain_draftnecp.pdf
- MIT (2015). Solar Photovoltaic Technologies, *Energy Futures*, MIT. Versión en línea: <http://energy.mit.edu/news/solar-photovoltaic-technologies/>
- NREL (2019). Report: Bifacial PV System Performance. Separating Fact from fiction, Versión en línea: <https://www.nrel.gov/docs/fy19osti/74090.pdf>
- J. PERLIN (2013). *Let it shine: the 6,000-year story of solar energy*, Novato (CA), USA, New World Library.
- RED ELÉCTRICA (2020). Informe del sistema eléctrico español 2019. Versión en línea: https://www.ree.es/sites/default/files/11_PUBLICACIONES/Documentos/InformesSistemaElectrico/2019/inf_sis_elec_ree_2019_v2.pdf
- H. RITCHIE, M. ROSER (2018). Energy (OurWorldInData.org). Versión en línea: <https://ourworldindata.org/energy>
- O. RODRÍGUEZ DE LA FUENTE (2020). *Félix: un hombre en la Tierra*, Ed. Planeta, Barcelona.
- V. SMIL (2017). *Energy and civilization: a history*, Cambridge (MA), USA, The MIT Press.

CARACTERIZACIÓN NUMÉRICA DE BROTES DE COVID-19: DATOS Y RATIOS

Antonio Gómez-Expósito

José A. Rosendo-Macías

Miguel A. González Cagigal

Dpto. de Ingeniería Eléctrica, Universidad de Sevilla

*Mesa redonda sobre COVID-19,
celebrada el 14 de octubre de 2020.*

Contents

- Background & Motivation
- Outbreak model based on growth ratios
- Case studies
 - Lockdown period (first wave)
 - “New normality” (second wave)

Background: virus evolution modelling

- **Model-driven estimation:** solution of ODE's characterizing the epidemic evolution; need to tune assumed epidemic parameters to fit observed data

SIR model

$$\dot{S}(t) = -\beta \cdot S(t)I(t)/N$$

$$\dot{I}(t) = \beta \cdot S(t)I(t)/N - \gamma \cdot I(t)$$

$$\dot{R}(t) = \gamma \cdot I(t)$$

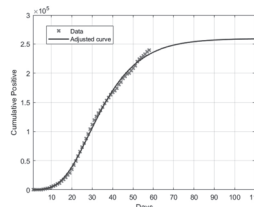
Challenges: Time evolution of ODE's parameters; Initialization

- **Data-driven filtering** (black box): prediction of unknown magnitudes from reported data; minimal assumptions.

- **Archetypical curve fitting:** Gompertz curve

- **Moving-window averaging:** delay associated to window size

Challenge: Actual infectious cases not measured



Background: speed vs growth ratio

- Rate of change (speed) of a magnitude:

$$\text{Speed} = \frac{\Delta X(t)}{\Delta t} = \frac{X(n+1) - X(n)}{T} \quad (\Delta t = T = 1 \text{ day})$$

- **Growth ratio** of a time series:

$$r(n) = X(n+1)/X(n) \quad (\text{x100 in \%})$$

$$\text{Speed}(T=1) = [r(n) - 1] \cdot X(n)$$

$$\text{Speed} > 0 \leftrightarrow r(n) > 1$$

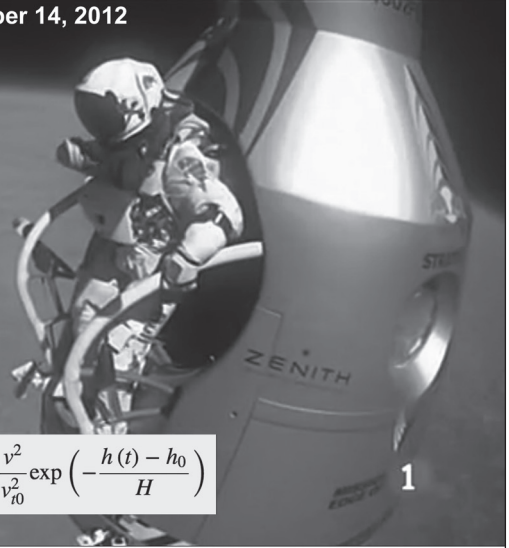
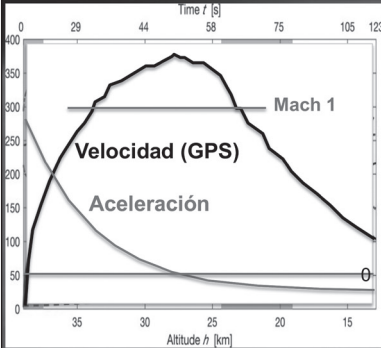
- Geometric series: $r(n)$ is constant

Exponential growth: $r(n) \approx 1.4 \rightarrow$ x2 every 2 days
x 10 every week

Motivation

39,068 m - 9'2" free-fall
 $V_{\max} = 1,357 \text{ km/h}$ (Mach 1.25)
 $V_{\text{mean}} = 259 \text{ km/h}$

October 14, 2012



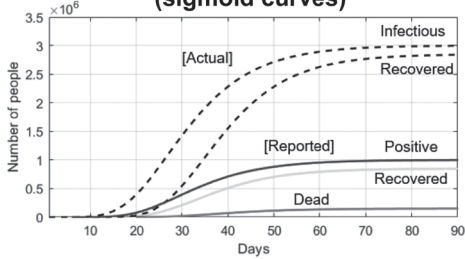
flight data (GPS) provide Δv for small time intervals Δt

$$\frac{1}{g} \frac{dv}{dt} = 1 - \frac{v^2}{v_0^2} \exp\left(-\frac{h(t) - h_0}{H}\right)$$

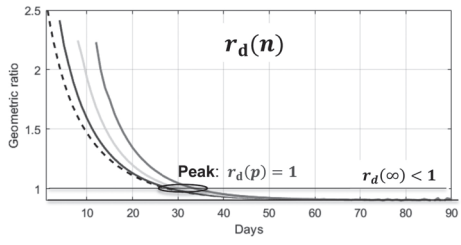
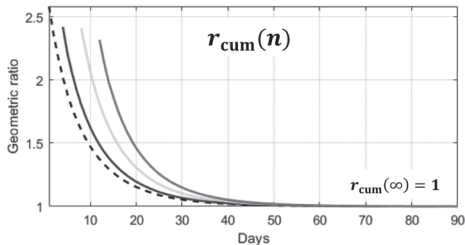
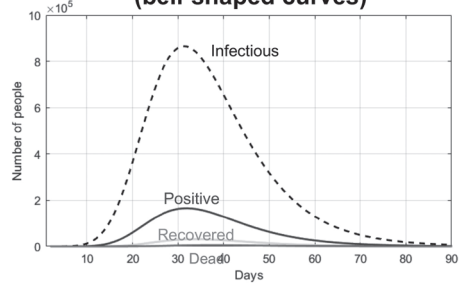
<https://www.rtve.es/deportes/20121014/felix-baumgartner-logra-romper-barrera-del-sonido-su-salto-estratosferico/570070.shtml>
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5720713/>

Motivation

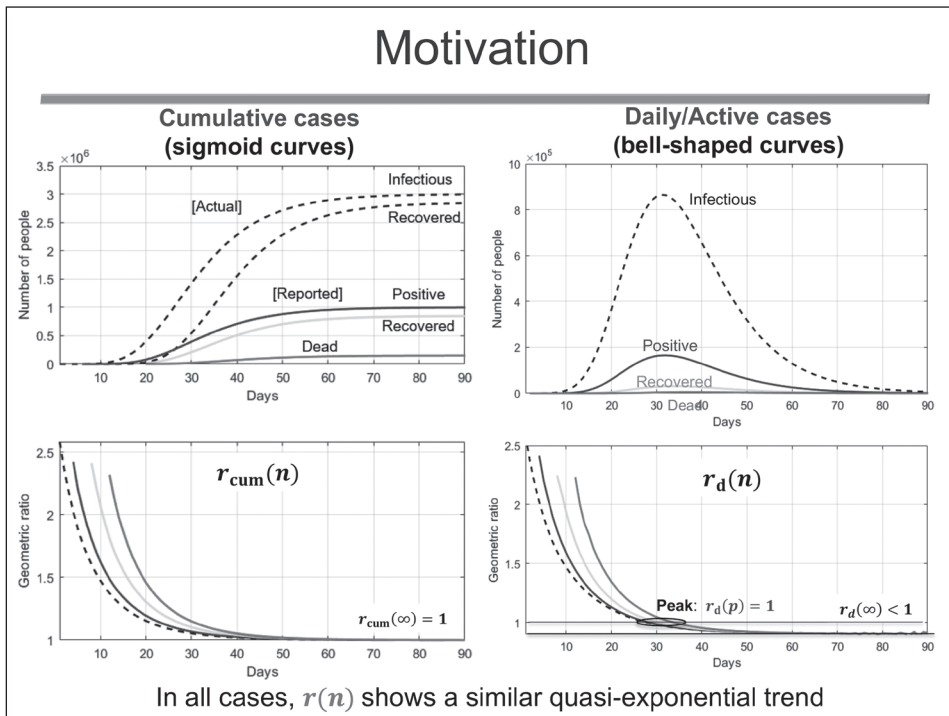
Cumulative cases
(sigmoid curves)



Daily/Active cases
(bell-shaped curves)



In all cases, $r(n)$ shows a similar quasi-exponential trend



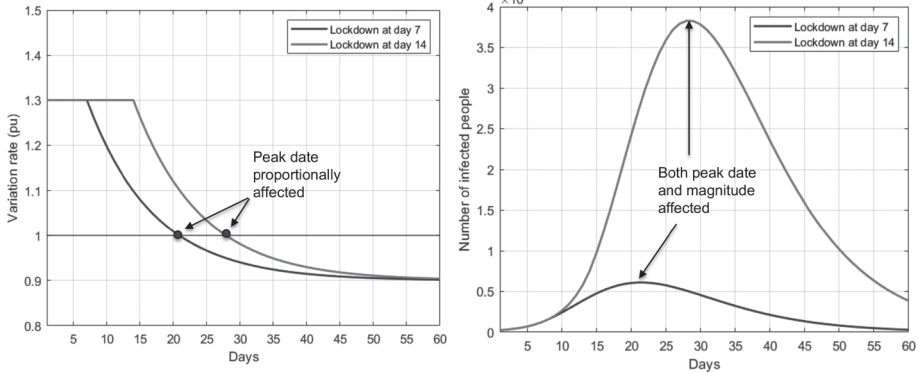
Motivation

- COVID19 epidemiological factors still largely unknown:
 - Transmission and recovery rates, time between infection and symptoms, time to recover or die, infectious period, etc.
- SIR or more complex models difficult to tune at early stages (many uncertain parameters involved)
- Estimated R_0 and R_t values not fully verifiable
- Data-driven, time series models: deal only with measured magnitudes (positives, recovered, dead)

Our thesis: $r(n)$ is the most suitable single index to monitor, track and predict the evolution of a viral epidemic

Example

Lockdown after **one** or **two** weeks from onset



The importance of **early** lockdowns

Simple model based on “growth ratio”

From an extended SIR model $\left\{ \begin{array}{l} \beta - \text{Transmission rate} \\ \gamma - \text{Recovery rate} \\ \mu - \text{Death rate} \end{array} \right.$

Active Infectious:

$$I(n+1) = \left[1 + \beta \cdot \frac{S(n)}{N} - (\gamma + \mu) \right] \cdot I(n)$$

$$I(n+1) = \boxed{r(n)} \cdot I(n)$$

$$R_0 = \beta \cdot D = \frac{\beta}{\gamma + \mu}$$

$$R_t(n) = R_0 \frac{S(n)}{N}$$

$D = 1/(\gamma + \mu)$: mean duration of infection

$$\boxed{R_t(n) - 1 = D[r(n) - 1]}$$

Ejemplo: $D=5 \rightarrow r(n)=1.4 \leftrightarrow R_t(n) = 3$

Simple model based on “growth ratio”

Relating $r(n)$ with the “measurements”: $I(n + 1) = r(n) \cdot I(n)$

$\begin{aligned} P(n) &= t(n) \cdot I(n) \\ \Delta D(n) &= \mu(n) \cdot I(n) \\ \Delta R(n) &= \gamma_t(n) \cdot I(n) \end{aligned}$	}	Reported cases of active Positives, daily Dead and daily Recovered
--	---	---

Measured ratios

$$r_D(n) = \frac{\Delta D(n+1)}{\Delta D(n)}$$

$$r_P(n) = \frac{P(n+1)}{P(n)}$$

$$r_R(n) = \frac{\Delta R(n+1)}{\Delta R(n)}$$

Coefficient gains

$$K_\mu(n) = \frac{\mu(n+1)}{\mu(n)}$$

$$K_t(n) = \frac{t(n+1)}{t(n)}$$

$$K_\gamma(n) = \frac{\gamma_t(n+1)}{\gamma_t(n)}$$

$$K_\square(n) \approx 1$$

$$r_D(n) = r(n) \cdot K_\mu(n) + \varepsilon$$

$$r_P(n) = r(n) \cdot K_t(n) + \varepsilon$$

$$r_R(n) = r(n) \cdot K_\gamma(n) + \varepsilon$$

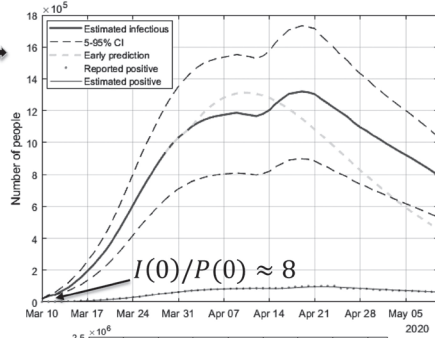
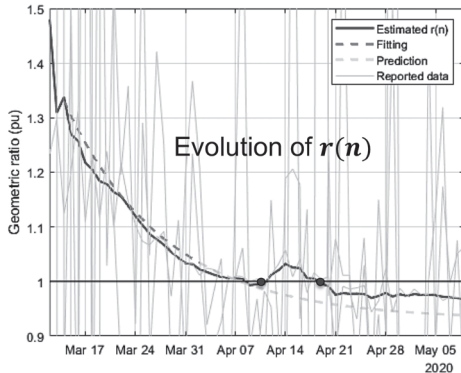
Can be enhanced with external information: e.g., $K_t(n)$

Contents

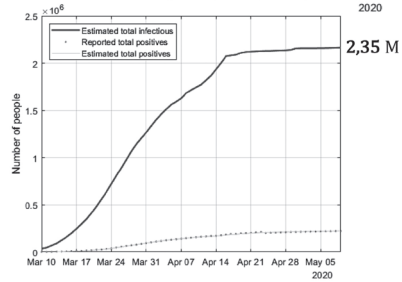
- Background & Motivation
- Outbreak model based on growth ratios
- **Case studies**
 - Lockdown period (first wave)
 - “New normality” (second wave)

Spain

Active infectious people

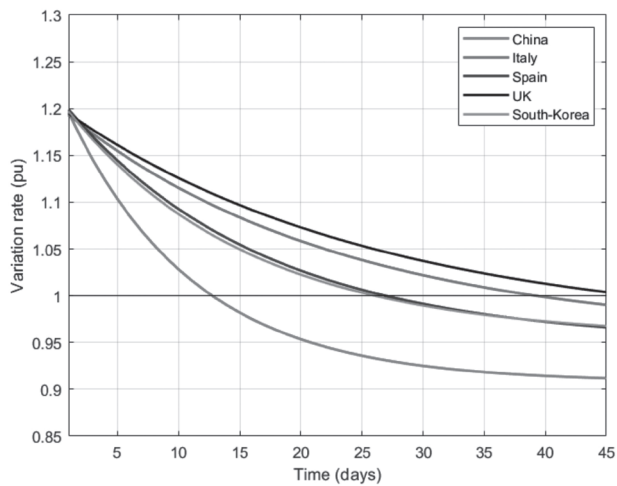


Cumulative infectious people



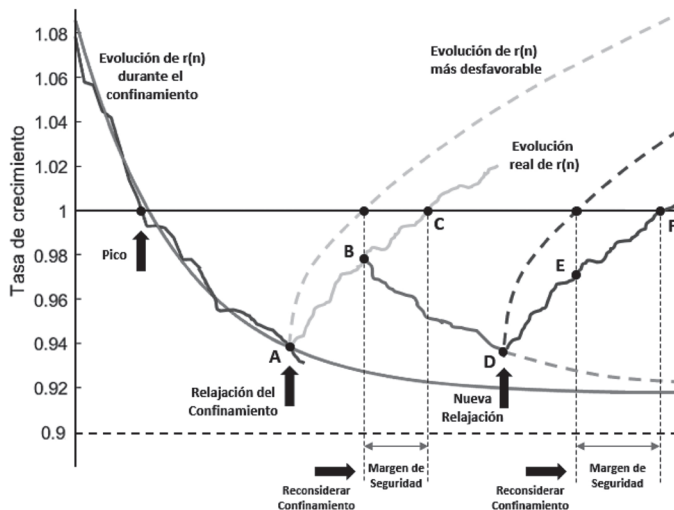
Lockdown comparison

Fitted ratios from common threshold ($r(n) = 1.2$)



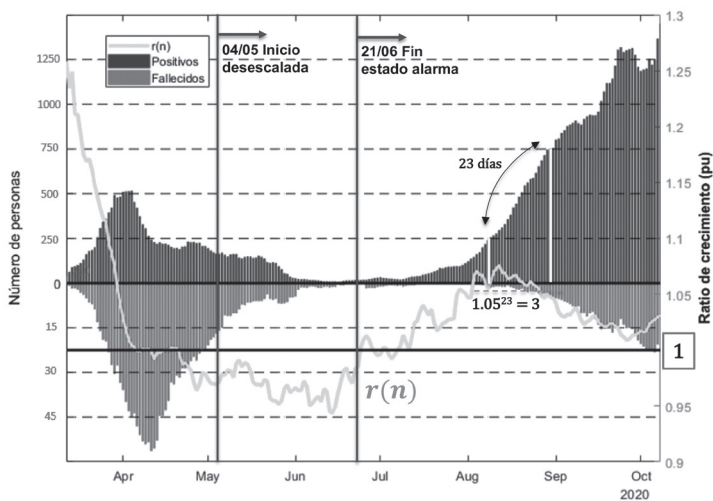
Post-lockdown outbreak control

Keep an eye on $r(n)$ closeness to 1, and take remedial actions well in advance



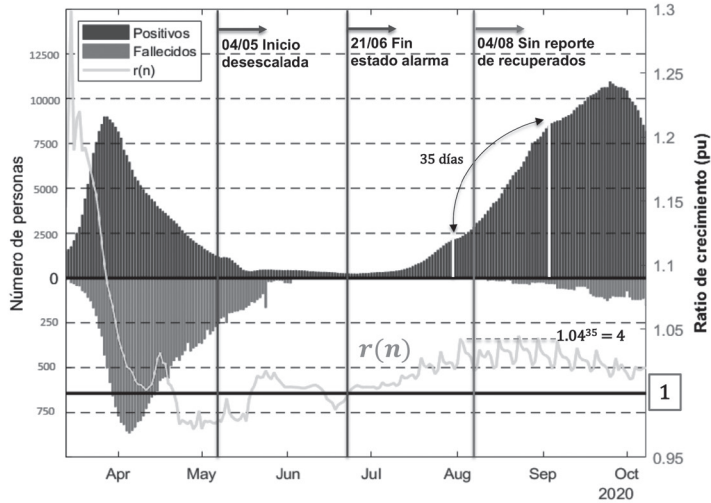
Andalucía

Evolución casos reportados y muertes (media 7 días)



España

Evolución casos reportados y muertes (media 7 días)



El caos de los datos

Científicos critican en 'The Lancet' el caos de los datos de covid en España

Cinco expertos aseguran que las métricas publicadas por las autoridades son insuficientes para comprender la dinámica de la pandemia y actuar

[El Confidencial 10/10/2020]

“... piden que publiquen **actualizaciones diarias** "**consistentes**" del número de casos, hospitalizaciones, admisiones en la UCI, recuperaciones, muertes y tests realizados.”

Conclusions

- Growth ratios (GR) postulated as simpler parameters to easily characterize epidemics
- Simple GR-based dynamic model proposed
- Nonlinear Kalman Filter to process reported data (recovered, dead, positives)
- Early forecasting capability checked on actual cases

SESIONES CIENTÍFICAS

MEJOR PREVENIR QUE CURAR: PUERTOS DEPORTIVOS Y ESPECIES EXÓTICAS

Conferencia pronunciada por la profesora Macarena Ros Clemente, el día 13 de enero de 2020.

RESUMEN

La modificación antropogénica del hábitat mediante la construcción de estructuras artificiales constituye una de las principales amenazas para la preservación de la biodiversidad y el funcionamiento de los ecosistemas. Una de las modificaciones más dramáticas en los hábitats costeros está relacionada con el aumento en la construcción de puertos deportivos. Estos hábitats artificiales constituyen una efectiva red de acumulación y propagación de especies exóticas carente de regulación. A pesar de ello, el conocimiento de las especies que albergan se encuentra sesgado hacia los organismos sésiles que se asientan directamente sobre las estructuras artificiales que conforman estos hábitats. Las comunidades epibentónicas móviles (principalmente crustáceos peracáridos, gasterópodos y poliquetos) que viven asociadas a estos organismos sésiles (basiobiontes) apenas se conocen. Esta falta de conocimiento deriva en una infravaloración del número de especies introducidas en cada región, así como del impacto que pueden llegar a generar. El conocimiento sobre el conjunto de las comunidades biológicas asociadas a los puertos deportivos es clave para desarrollar herramientas de gestión desde un enfoque preventivo. Este enfoque permitiría gestionar las especies exóticas antes de que lleguen a producir un impacto ecológico y/o económico perceptible (cuando su gestión es más eficiente), centrando los esfuerzos en los núcleos de propagación (puertos deportivos). En esta conferencia se plantean los principales retos para abordar este enfoque y se aportan herramientas sencillas e innovadoras encaminadas a la detección temprana y monitorización a largo plazo de las especies exóticas transportadas a través de este vector.

EL PAPEL DE LOS PUERTOS DEPORTIVOS EN LA INTRODUCCIÓN Y PROPAGACIÓN DE ESPECIES EXÓTICAS

La alteración del hábitat mediante la construcción de estructuras artificiales supone una de las mayores amenazas para la preservación de la biodiversidad y el funcionamiento de los ecosistemas naturales (Foley et al. 2005). En el medio terrestre, por

ejemplo, la construcción de carreteras afecta drásticamente a la ecología y distribución de aves y plantas, entre otros organismos (Knight et al. 1995). Estas estructuras no sólo alteran los patrones de distribución de las especies nativas sino que facilitan la introducción, el establecimiento y la propagación de especies exóticas (especies transportadas por el hombre fuera de su rango natural de distribución), especialmente en el caso de las plantas (Tyser y Worley 1992). Estas especies se consideran invasoras cuando ocasionan un impacto ecológico y/o económico en los ecosistemas invadidos (Davis y Thomson 2000; Mack et al. 2000). Sin embargo, en muchas ocasiones, cuando se detecta una especie exótica, la ausencia de estudios previos impide conocer el periodo relativo de introducción y/o el impacto generado en las comunidades receptoras. Esto sucede con mucha frecuencia en el medio marino, donde muchas especies exóticas corresponden a pequeños invertebrados poco conocidos o a especies de mayor tamaño, que se confunden con especies nativas. Teniendo en cuenta que las invasiones biológicas son, tras la destrucción del hábitat, una de las mayores amenazas para la conservación los ecosistemas (Clavero y García-Berthou 2005), entender la sinergia entre ambos fenómenos supone uno de los objetivos prioritarios de la ciencia actual.

En las ciudades costeras, gran parte de los hábitats naturales están siendo reemplazados por estructuras artificiales con objetivos comerciales, urbanísticos y/o recreativos (Johnston et al. 2011). Sin embargo, a diferencia de lo que ocurre en el medio terrestre, las consecuencias ecológicas que tienen estas infraestructuras en el medio marino son mucho menos conocidas (Marzinelli et al. 2009; Bulleri y Chapman 2004). Una de las reconfiguraciones más dramáticas de la costa está relacionada con la creciente construcción de puertos deportivos (Rivero et al. 2013). En España, por ejemplo, el número de puertos deportivos se ha triplicado desde los años 70, siendo Andalucía una de las comunidades autónomas que albergan el mayor número de ellos (FEADPT, 2016). Estas infraestructuras alteran el funcionamiento de los ecosistemas costeros al modificar el hidrodinamismo (Koehl 2007; Floerl e Inglis 2003), resuspender los sedimentos (Iannuzzi et al. 1996) o concentrar diversos contaminantes (McGee et al. 1995; Schiff et al. 2007) entre otros impactos. La principal fuente de contaminación en los puertos deportivos proviene de las pinturas antiincrustantes o “antifouling” (Schiff et al. 2007). Los metales pesados que contienen, como Cu o Zn, son liberados directamente hacia la columna de agua donde acaban siendo adsorbidos por los sedimentos del fondo (Di Franco et al. 2011) o por algunos organismos (Johnston et al. 2011). Además de alterar las condiciones ambientales, los puertos deportivos aportan una gran cantidad de sustrato artificial disponible para ser colonizado por las comunidades incrustantes (o comunidades del “*fouling*”) que viajan adheridas a los barcos que amarran en ellos (Minchin et al. 2006). Diferentes trabajos, centrados fundamentalmente en invertebrados sésiles, han demostrado que la composición de especies asociada a estos hábitats artificiales es diferente y más homogénea en comparación con la de los ambientes naturales adyacentes (e.g. Connell y Glasby 1998; Bulleri y Chapman 2004; Megina et al. 2016). Parte de estas diferencias residen en el hecho de que hay un mayor número de especies introducidas asociadas a sustrato duro artificial en comparación con el sustrato duro natural que forma, por ejemplo, los intermareales rocosos (Glasby et al. 2007). De hecho, los puertos

deportivos actúan como reservorios de especies introducidas (Minchin et al. 2006) y las embarcaciones de recreo como una efectiva red de introducción y propagación de estas especies a escala local y regional (Ashton et al. 2014; Martínez-Laíz et al. 2019). Además, a diferencia de otros vectores, como el agua de lastre (regulado por el Convenio internacional para el control y la gestión del agua de lastre y los sedimentos de los buques de 2004 y en vigor desde 2017), el *fouling* que crece asociado a los cascos de las embarcaciones de recreo es un vector carente de regulación (Murray et al. 2011).

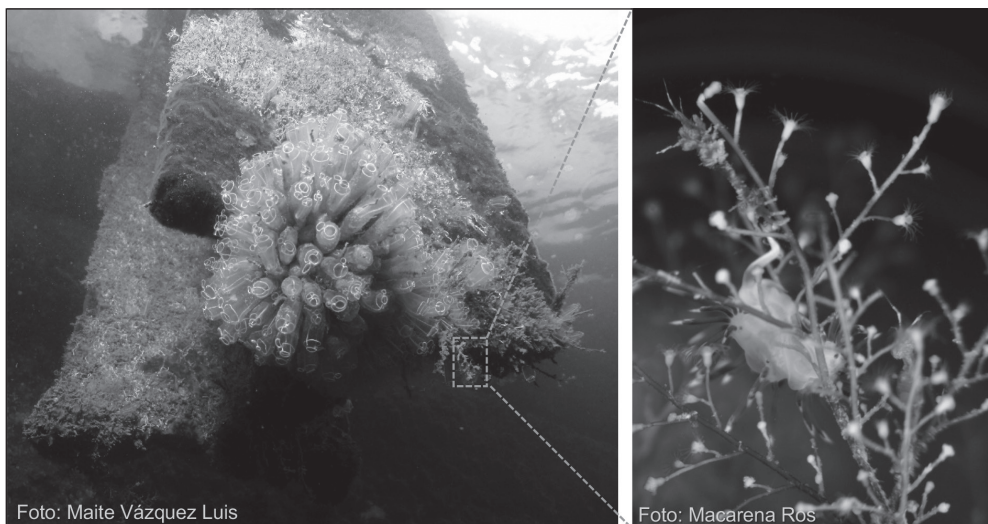
La alta efectividad de los puertos deportivos y las embarcaciones de recreo en el transporte y acumulación de especies exóticas, en comparación con otros vectores (como los puertos comerciales), reside en varios factores: a) los puertos deportivos, a diferencia de los puertos comerciales, aportan una mayor cantidad de sustrato artificial disponible para ser colonizado por el *fouling* de los barcos que amarran en ellos (Minchin et al. 2006); b) las embarcaciones de recreo permanecen amarradas más tiempo que los barcos comerciales, aumentando la probabilidad de que las especies exóticas de los puertos de amarre colonicen las partes sumergidas de las embarcaciones (Floerl 2002); c) estas embarcaciones no sólo viajan de unos puertos a otros, tal y como sucede con los barcos comerciales, también visitan y amarran con frecuencia en enclaves naturales y áreas marinas protegidas. Teniendo en cuenta que la propagación de una especie exótica suele estar directamente relacionada con la magnitud del impacto que puede llegar a generar (Ashton et al. 2006), la regulación de este vector es clave en la gestión de las invasiones biológicas. Sin embargo, aunque este vector de transporte se muestra efectivo en la propagación secundaria de especies introducidas entre hábitats artificiales, la introducción y establecimiento de estas especies en los hábitats naturales circundantes resulta un proceso más limitante y menos conocido (Ros et al. 2013, 2016). Esto deriva en una acumulación de especies exóticas en estos lugares de introducción, a la espera de que se den las condiciones adecuadas para su crecimiento explosivo y su propagación hacia hábitats naturales. Esta fase de espera o *lag phase* en la dinámica de invasión de muchas especies exóticas ofrece una oportunidad única para estudiar su ecología y/o su impacto en otras regiones antes de que lleguen a generar un impacto descontrolado en el área de estudio.

COMUNIDADES EPIBENTÓNICAS MÓVILES, UN REFUGIO DE ESPECIES EXÓTICAS QUE PERMANECEN SIN DETECTAR

En los puertos deportivos, las especies introducidas a través de las embarcaciones de recreo se pueden asentar directamente sobre el sustrato artificial (como boyas, pantalanes o los cascos de otras embarcaciones) o también pueden hacerlo sobre la superficie biogénica que aportan las especies sésiles, ya sean nativas o introducidas, que se han asentado previamente. Sin embargo, la mayor parte de los estudios sobre *fouling* se han centrado en los organismos sésiles que crecen directamente sobre las estructuras artificiales (invertebrados bentónicos y macroalgas) (Marzinelli et al. 2009; Johnston et al. 2011). Las comunidades epibiontes asociadas a estos organismos sésiles (basibiontes)

apenas se conocen (Figura 1) y los pocos estudios que existen son de carácter local y se han centrado a su vez en el componente sésil, fundamentalmente briozoos e hidrozoos epífitos (Johnston et al. 2011; Marzinelli et al. 2009). A pesar de la gran diversidad de especies y la importancia ecológica que tienen los pequeños invertebrados que conforman la macrofauna móvil epibionte (principalmente crustáceos peracáridos, gasterópodos y poliquetos) como vínculo trófico entre los productores primarios y los niveles tróficos superiores (Andrew y Jones, 1990), el efecto de la construcción de puertos y otras formaciones artificiales sobre estos grupos es prácticamente desconocido (People 2006; Ros et al. 2016). Esto tiene al menos dos consecuencias relevantes (Ros 2019): (1) muchos epibiontes exóticos permanecen sin detectar, subestimándose el número de

FIGURA 1
A LA IZQUIERDA, HIDROZOO PERTENECIENTE AL GÉNERO *EUDENDRIUM* QUE CRECE ASOCIADO A UN PILAR DEL PUERTO DEPORTIVO DE PALMA (MALLORCA). A LA DERECHA, DETALLE DEL HIDROZOO DONDE SE OBSERVA ALGUNOS EPIBIONTES ASOCIADOS, CONCRETAMENTE EL CAPRÉLIDO EXÓTICO *PARACAPRELLA PUSILLA* MAYER, 1890 Y EL NUDIBRANQUIO *CRATENA PEREGRINA* (GMELIN, 1791)



especies introducidas en cada región, y (2) cuando se detecta un epibionte exótico, la ausencia de estudios previos impide conocer el periodo relativo de introducción y/o el impacto generado en las comunidades receptoras. El conocimiento sobre el conjunto de las comunidades biológicas asociadas a los puertos deportivos (es decir, de los basibiontes y sus epibiontes asociados) es clave para desarrollar herramientas de gestión desde un enfoque preventivo. Este enfoque permitiría gestionar las especies exóticas antes de que lleguen a producir un impacto ecológico y/o económico perceptible (cuando su gestión es más eficiente), centrando los esfuerzos en los núcleos de propagación (puertos

deportivos) (Ros 2019). Por ejemplo, la elaboración de mapas de riesgo basados en el número de especies exóticas (e.g. índice de biocontaminación, Arbaciauskas et al. 2008) permitiría priorizar los esfuerzos en aquellos puertos con mayor incidencia de especies introducidas y, por tanto, mayor probabilidad de introducción y propagación de estas especies. La monitorización a largo plazo de estos puertos permitiría establecer una red de alerta temprana para detectar y cuantificar nuevas introducciones.

Uno de los principales retos para abordar el estudio de las comunidades epibentónicas móviles (de ahora en adelante CEM) reside en su compleja taxonomía, que requiere de taxónomos especializados y, en ocasiones, de técnicas moleculares para alcanzar el nivel de especie en su identificación. Una mayor inversión en taxonomía y la presencia de grupos interdisciplinares que incluyan ecólogos, taxónomos especializados y especialistas en el uso de técnicas moleculares aplicadas a cada grupo se muestra como una de las mejores formas de abordar este problema.

El otro reto que es necesario abordar para estudiar las CEM es su forma de recolección, frecuentemente asociada al basibionte sobre el que viven. Esto dificulta la estandarización y por tanto la obtención de datos comparativos tanto a nivel espacial como temporal. Una de las soluciones a este problema se basa en la utilización de basibiontes de amplia distribución, que sean capaces de crecer en diferentes hábitats y gradientes latitudinales (e.g. formaciones cespitosas de *Corallina sensu lato* Linnaeus, 1758). Sin embargo, esta metodología muestra limitaciones que se acentúan a medida que se aumenta el rango espacio-temporal del estudio. Esto se debe a que el estudio depende de forma directa de la presencia del basibionte y de forma indirecta de las características vitales y estructurales del mismo en el momento de su recolección. Por otra parte, la recolección de las CEM junto al basibionte al que se encuentran asociadas dificulta la correcta fijación de los especímenes que las conforman y por tanto su identificación posterior en el caso de precisar de análisis moleculares. Esto podría deberse a la liberación de agua y otras sustancias por parte del basibionte en el momento de su fijación, diluyendo las concentraciones finales de etanol y por tanto dificultando la fijación de los tejidos de los epibiontes, incluso partiendo de etanol absoluto como elemento fijador (M. Ros pers. obs.).

NUEVAS HERRAMIENTAS PARA LA DETECCIÓN TEMPRANA Y MONITORIZACIÓN A LARGO PLAZO DE ESPECIES EXÓTICAS EPIBIONTES MÓVILES

En el caso de las comunidades sésiles, la problemática de la estandarización se ha abordado con el uso de unidades artificiales de hábitat, generalmente en forma de placas de PVC (Ruiz et al. 2009). Sin embargo, la dependencia de las CEM sobre los basibiontes seguía persistiendo bajo esta metodología. Si bien ha habido algunos intentos de establecer una metodología basada en estructuras artificiales de mayor complejidad estructural para cuantificar las CEM en hábitats naturales (e. g. Gee y Warwik 1996), hasta el momento no se han aplicado a hábitats artificiales y tampoco se ha desarrollado

un protocolo estandarizado asociado a su uso que facilite las comparativas entre estudios. Esto ha provocado un claro sesgo en el conocimiento de las invasiones biológicas en el medio marino, así como sobre su impacto sobre los ecosistemas receptores. En este sentido, desde la Directiva Marco sobre la Estrategia Marina (Comisión Europea, 2008) y la Estrategia Europea de la Biodiversidad (Comisión Europea, 2011, 2013), se ha instado de forma urgente al desarrollo e implementación de nuevas metodologías estandarizadas y cuantitativas que ayuden a solventar estas lagunas en el conocimiento tanto de la biodiversidad de los ecosistemas bentónicos, como de los factores que la amenazan (con especial mención a las especies invasoras, que conforman el descriptor 11 de la Directiva Marco sobre la Estrategia Marina). De esta forma se persigue el desarrollo de nuevas medidas e instrumentos de gestión ambiental que incluyan la detección temprana de especies exóticas, el establecimiento de mapas de riesgo que ayuden a prevenir la introducción de especies así como la evaluación de los cambios en los rangos de distribución de las especies ya introducidas.

En el marco del proyecto I+D+i FEDER (Ref. US-1265621), hemos desarrollado una herramienta de gestión sencilla e innovadora que facilita el estudio y monitorización de las CEM de puertos deportivos a través de diferentes escalas espacio-temporales. Se trata de unas trampas de recolección pasiva basadas en estructuras tridimensionales de PVC que sustituyen a la matriz biológica aportada por el basibionte. Estas estructuras son fáciles de adquirir (se comercializan en pequeñas y grandes superficies para la higiene corporal), económicas y de morfología estandarizada. Para que su colocación y retirada siga un procedimiento estandarizado, se ha desarrollado el protocolo ANIMES (*Assesment of Non Indigenous Mobile Epibenthic Species*), que permite separar y fijar “in situ” todos los individuos asociados a cada trampa (ahorrando el consiguiente tiempo que se dedicaría a esta tarea en el laboratorio). Los resultados preliminares, centrados en tres puertos gaditanos, se han mostrado muy satisfactorios, recolectando cada trampa un promedio de 1924.69 ± 283.13 (media \pm error estándar) individuos, pertenecientes a 12 grupos faunístico distintos (Ros et al. 2019). En el caso de los crustáceos isópodos, donde se ha llegado a nivel de especie, se han recolectado un total de 15 especies, siendo 4 de ellas exóticas. Uno de estos isópodos no se había registrado previamente en la Península Ibérica, y todo sugiere que se trata de una especie poco conocida de reciente introducción (Ros et al. en preparación).

A través de la creación e implementación del protocolo ANIMES y las trampas de recolección pasiva anteriormente mencionadas, se espera a largo plazo: (1) obtener información acerca de los patrones de abundancia y composición de especies nativas e introducidas a través de un gradiente espacial asociado a un hábitat directamente relacionado con un vector de introducción (concretamente los puertos deportivos, siendo el vector las embarcaciones de recreo); (2) detectar de forma temprana nuevas especies exóticas; (3) detectar cambios en el rango de distribución de las especies ya introducidas, permitiendo diferenciar entre las especies que se encuentren en una fase de inicial de propagación de aquellas que se encuentren en una fase expansiva (elevando el riesgo de impacto sobre las comunidades nativas); (4) generar mapas de riesgo en base al

porcentaje de especies exóticas encontradas y establecer puntos calientes de introducción de especies para conocer las principales vías de propagación. En este sentido, los puertos deportivos constituyen la manera ideal de monitorizar una invasión que no ha alcanzado todavía el hábitat natural y por tanto, elaborar mapas de riesgo en función de mapas de abundancia y distribución de estas especies en puertos puede suponer una herramienta clave para prevenir futuros impactos. Así mismo, se espera sentar las bases para poder valorar a largo plazo el impacto que provocan las especies exóticas a través de las embarcaciones de recreo, un impacto que sin un conocimiento del estado previo será imposible de evaluar. Este conocimiento podrá ser usado para implementar las medidas oportunas para regular este vector de propagación.

CONCLUSIONES Y RETOS DE FUTURO

Dada la dificultad para conocer el impacto que generan las especies introducidas en el medio marino, se debe aplicar el “principio de precaución”, dedicando esfuerzos hacia la detección temprana de especies exóticas antes de que generen un impacto ecológico y/o económico notable. Para ello, se necesitan implementar medidas de monitorización a largo plazo en zonas estratégicas de introducción de especies, que estén basadas en metodologías de muestreo estandarizadas. Los puertos deportivos son un vector creciente y con alto riesgo de introducción y propagación de especies exóticas, constituyendo lugares clave para la detección temprana de estas especies. Así mismo, constituyen la manera ideal de monitorizar una invasión que no ha alcanzado todavía el hábitat natural, facilitando la prevención de futuros impactos. Una vez la especie se ha expandido y genera un fuerte impacto en hábitats naturales, hay que proceder a prevenir la propagación a zonas susceptibles de invasión, por ejemplo a través de la elaboración de mapas de riesgo (basado en estudios previos de la especie tanto en su hábitat nativo como en el introducido).

Para que la detección temprana y la monitorización en estos puntos calientes de introducción de especies sean efectivas, hay que implementar y apoyar el conocimiento taxonómico (morfológico y molecular). El conocimiento de la biodiversidad de cada región es necesaria para detectar nuevas introducciones, pero también para conocer la magnitud del impacto que provocan sobre las comunidades nativas. Así mismo, la cooperación entre científicos, así como entre científicos y otros agentes implicados, es clave para terminar de establecer redes de detección temprana de especies exóticas.

Por otra parte, se necesitan medidas urgentes de gestión de los vectores de introducción: especialmente puertos deportivos e instalaciones de acuicultura. Muchas especies son reintroducidas y polivécticas (se introducen varias veces por diferentes vectores). La regulación de un único vector, como el agua de lastre, se muestra inefectiva para estas especies. La concienciación y educación a edades tempranas y en los usuarios de los barcos también resulta un factor clave en la gestión de las invasiones en el medio marino.

AGRADECIMIENTOS

Quisiera mostrar mi agradecimiento a la Real Academia Sevillana de Ciencias y a sus ilustres miembros, por ofrecerme la posibilidad de compartir estos estudios. Además, quisiera agradecer a todos aquellos (alumnos internos, estudiantes de máster y doctorado, e investigadores de reconocido prestigio a nivel nacional e internacional) que han colaborado y colaboran de forma activa para tratar de profundizar en el conocimiento sobre las invasiones en el medio marino. Así mismo, quisiera agradecer la financiación recibida por el proyecto I+D+i FEDER “Estudio integrado del efecto de los puertos deportivos en las comunidades bentónicas del litoral andaluz: especies invasoras y nuevas herramientas de gestión ambiental” (Ref.: US-1265621), en el que se han centrado la mayor parte de los estudios expuestos.

REFERENCIAS

- ANDREW N.L., JONES G.P. (1990). Patch formation by herbivorous fish in a temperate Australian kelp forest. *Oecologia* 85:57-68.
- ARBACIAUSKAS K., SEMENCHENKO V., GRABOWSKI M., ET AL. (2008). Assessment of biocontamination of benthic macroinvertebrate communities in European inland waterways. *Aquatic Invasions* 3:211-230.
- ASHTON G.V., DAVIDSON I., RUIZ G.M. (2014). Transient small boats as a long-distance coastal vector for dispersal of biofouling organisms. *Estuaries and Coasts* 37: 1572-1581.
- ASHTON, G. V., BOOS, K., SHUCKSMITH, R., COOK, E. J. (2006). Risk assessment of hull fouling as a vector for marine non-natives in Scotland. *Aquatic Invasions* 1:214-218.
- BULLERI F., CHAPMAN M.G. (2004). Intertidal assemblages on artificial and natural habitats in marinas on the north-west coast of Italy. *Marine Biology* 145:381-391.
- CLAVERO M., GARCÍA-BERTHOUS E. (2005). Invasive species are leading cause of animal extinctions. *Trends in Ecology and Evolution* 20: 110.
- CONNELL S.D., GLASBY T.M. (1998). Do urban structures influence local abundances and diversity of subtidal epibiota? A case study from Sydney Harbour, Australia. *Marine Environmental Research* 47:1-15.
- DAVIS M.A., THOMPSON K. (2000). Eight ways to be a colonizer; two ways to be an invader: a proposed nomenclature scheme for invasion ecology. *ESA Bulletin* 81: 226-230.
- DI FRANCO A., GRAZIANO M., FRANZITTA G., ET AL. (2011). Do small marinas drive habitat specific impacts? A case study from Mediterranean Sea. *Marine Pollution Bulletin* 62:926-933.
- EC (2008). Directive 2008/56/EC of the European Parliament and of the Council of 17 June 2008 establishing a framework for community action in the field of marine environmental policy (Marine Strategy Framework Directive). *Official Journal of the European Union* 164: 19-40.
- EC (2011). Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the Economic and Social Committee and the Committee of the Regions. *Our Life Insurance, Our Natural Capital: an EU Biodiversity Strategy to 2020*. COM/2011/244. Brussels, European Commission.
- EC (2013). Proposal for a Regulation of the European parliament and of the Council on the prevention and management of the introduction and spread of invasive alien species. COM (2013) 620 final. 2013/0307 (COD).
- F.E.A.P.D.T. [Federación Española de Asociaciones de Puertos Deportivos y Turísticos] (2016) Informe anual de puertos deportivos en España 2015. (<http://feapdt.es/wp-content/uploads/2018/10/Informe-Puertos-2015.pdf>)

- FLOERL O. (2002). Intracoastal Spread of Fouling Organisms by Recreational Vessels. PhD Dissertation. James Cook University, Townsville.
- FLOERL O., INGLIS G.J. (2003). Boat harbor design can exacerbate hull fouling. *Austral Ecology* 28: 116-127
- FOLEY J.A., DEFRIES A., ASNER G.P. ET AL. (2005). Global consequences of land use. *Science* 309:570-574.
- GEE J.M., WARWICK R.M. (1996). A study of global biodiversity patterns in the marine motile fauna of hard substrata. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom* 76: 177-184
- GLASBY T.M., CONNELL S.D., HOLLOWAY M., HEWITT C. (2007). Nonindigenous biota on artificial structures: could habitat creation facilitate biological invasions? *Marine Biology* 151:887-895.
- IANNUZZI T.J., WEINSTEIN M.P., SELLNER K.G., BARRETT J.C. (1996). Habitat disturbance and marina development: an assessment of ecological effects. I. Changes in primary production due to dredging and marina construction. *Estuaries* 19:257-271.
- JOHNSTON E.L., MARZINELLI E.M., WOOD C.A. ET AL. (2011). Bearing the burden of boat harbours: Heavy contaminant and fouling loads in a native habitat-forming alga. *Marine Pollution Bulletin* 62:2137-2144.
- KNIGHT R.L., KNIGHT HAL, CAMP R.J. (1995). Common ravens and number and type of linear rights-of-way. *Biological Conservation* 74:65-67.
- KOEHL M.A.R. (2007). Mini review: hydrodynamics of larval settlement into fouling communities. *Biofouling*. 23:357-368.
- MACK R.N., SIMBERLOFF D., LONSDALE W.M., ET AL. (2000). Biotic invasions: causes, epidemiology, global consequences, and control. *Ecological applications* 10: 689-710.
- MARTÍNEZ-LAIZ G., ULMAN A., ROS M., MARCHINI A. (2019). Is recreational boating a potential vector for non-indigenous peracarid crustaceans in the Mediterranean Sea? A combined biological and social approach. *Marine pollution bulletin* 140: 403-415.
- MARZINELLI E.M., ZAGAL C.J., CHAPMAN M.G., UNDERWOOD A.J. (2009). Do modified habitats have direct or indirect effects on epifauna? *Ecology* 90:2948-2955.
- MCGEE B., SCHLEKAT C., BOWARD D., WADE T. (1995). Sediment contamination and biological effects in a Chesapeake Bay marina. *Ecotoxicology* 4:39-59.
- MEGINA C., GONZÁLEZ-DUARTE M., LÓPEZ-GONZÁLEZ P.J. (2016). Benthic assemblages, biodiversity and invasiveness in marinas and commercial harbours: an investigation using a bioindicator group. *Biofouling* 32: 465-75
- MINCHIN D., FLOERL O., SAVINI D., OCCHIPINTI-AMBROGI A. (2006). Small craft and the spread of exotic species. En: Davenport J, Davenport JD (eds.). *The Ecology of Transportation: Managing Mobility for the Environment*, pp 99-118.
- MURRAY C.C., PAKHOMOV E.A., THERRIAULT T.W. (2011). Recreational boating: a large unregulated vector transporting marine invasive species. *Diversity and Distributions* 17: 1161–1172.
- PEOPLE J. (2006). Mussel beds on different types of structures support different macroinvertebrate assemblages. *Austral Ecology* 31:271-281
- RIVERO N.K., DAFFORN K.A., COLEMAN M.A., JOHNSTON E.L. (2013). Environmental and ecological changes associated with a marina. *Biofouling* DOI: 10.1080/08927014.2013.805751
- ROS M. (2019). Importancia de los puertos deportivos en la propagación de especies exóticas: retos para la gestión de un vector emergente. *Algas* 55e, 7-9.
- ROS M., LACERDA M.B., VÁZQUEZ-LUIS M, ET AL. (2016). Studying exotics in their native range: Can introduced fouling amphipods expand beyond artificial habitats? *Biological Invasions* 18:2983-3000.

- ROS M., LÓPEZ DE LA ROSA V., REVANALES T., ET AL. (2019). Towards a standardized methodology for monitoring and assessing marine mobile epibenthic communities across spatio-temporal scales. *Frontiers in Marine Science*. Conference Abstract: XX Iberian Symposium on Marine Biology Studies (SIEBM XX). Doi: 10.3389/conf.fmars.2019.08.00037
- ROS M., VÁZQUEZ-LUIS M., GUERRA-GARCÍA J.M. (2013). The role of marinas and recreational boating in the occurrence and distribution of exotic caprellids (Crustacea: Amphipoda) in the Western Mediterranean: Mallorca Island as a case study. *Journal Of Sea Research* 83, 94-103.
- RUIZ G.M., FREESTONE A.L., FOFONOFF P.W., SIMKANIN C. (2009). Habitat distribution and heterogeneity in marine invasion dynamics: the importance of hard substrate and artificial structure. In: Wahl M (ed) *Marine Hard Bottom Communities: Patterns, Dynamics, Diversity and Change*. Springer, Heidelberg, Germany.
- SCHIFF K., BROWN J., DIEHL D., GREENSTEIN D. (2007). Extent and magnitude of copper contamination in marinas of the San Diego region, California, USA. *Marine Pollution Bulletin* 54:322–328.
- TYSER R.W., WORLEY C.A. (1992). Alien flora in grasslands adjacent to road and trail corridors in glacier national park, Montana (USA). *Conservation Biology* 6:253–262.

SESIONES NECROLÓGICAS
Sesión necrológica en honor del
Ilmo. Sr. D. Guillermo Paneque Guerrero
(12 de marzo de 2020)

PALABRAS DE NICOLÁS BELLINFANTE CROCCI

PRIMEROS CONTACTOS CON EL SUELO

Contaba el profesor que sus primeros contactos con el suelo fueron durante sus estudios de bachillerato, que cursó en el colegio San Francisco de Paula, de Sevilla.

El director de entonces (D. Luis Rey), sevillano y químico, había leído noticias sobre la moderna ciencia de Edafología en España y, como tema de preparación final del 7º curso, encargó a D. Guillermo un tema titulado: Nueva Ciencia: “La Edafología”, tema que expuso a sus compañeros con mucho éxito.

Al año siguiente, curso 1948-49, cursando el preparatorio de Ciencias, el Dr. Alastrue, catedrático de Geología en la F. de Ciencias de Sevilla, le encarga hablar sobre el recién publicado libro “El suelo”, de D. José María Albareda.

Ese mismo año, en un seminario organizado por el SEU para estudiantes de Ciencias gana un premio exponiendo el tema Suelo, agricultura y Química.

Durante ese curso, tuvo que decidir qué estudios universitarios realizar. Con su vocación naturalista, le atraía Agronomía o Farmacia, y, por diversas causas particulares, se decidió finalmente por estudiar Farmacia en la Universidad de Granada.

En el segundo año de la licenciatura, entró de nuevo en contacto con la Edafología, ya que uno de sus profesores era D. Ángel Hoyos de Castro, uno de los pioneros del desarrollo de la ciencia edafológica en España.

ETAPA DE FORMACIÓN

Terminó sus estudios de licenciatura con la calificación de sobresaliente, y entró en contacto con el Prof. D. Francisco González García, catedrático de Química Inorgánica en la Universidad de Sevilla, para realizar su tesis doctoral.

He de aclarar que, en aquella cátedra, existía una sección del CSIC, y, al mismo tiempo, se había creado el Centro de Edafología y Biología Aplicada del Cuarto por parte del CSIC.

Don Guillermo, en 1957 y bajo la dirección del Prof. González, lee su tesis doctoral sobre “Composición mineralógica y génesis de algunos suelos calizos béticos”.

Ese año 1957, obtiene una pensión del Ministerio de Educación Nacional para realizar estudios en el Departamento de Agricultura y Geología en el University College

del Norte de Gales (Reino Unido) para trabajar junto al Dr. Smithson en mineralogía de suelos y sedimentos de suelos andaluces.

Precisamente a su vuelta de Bangor, tuve el primer contacto con él. Yo era estudiante de 2º año de Química y supe que en la cátedra de Química Inorgánica se necesitaba estudiantes que, como alumnos internos, pudieran ayudar en labores relacionadas con la investigación. Fue entonces cuando conocí al Dr. Paneque.

Desde entonces, lo veía ya como una persona enormemente curiosa e interesada con cualquier tema relacionado con la Ciencia del Suelo. Creo que esas facultades las conservó toda su vida.

TIEMPOS EN EL CSIC

El año 1957, fue nombrado colaborador científico del CSIC. Y el año 1958 se le nombra secretario del Centro de Edafología y Biología Aplicada del Cuarto de Sevilla del CSIC. Más tarde, en 1961, es también nombrado jefe de la Sección de Suelos

Su carrera en este tiempo continúa y le hacen Investigador científico del CSIC en 1965 y, finalmente, alcanza la mayor categoría, profesor de investigación, en 1971.

En este tiempo y posteriormente, dedicó mucho tiempo a la línea de investigación Química, Mineralogía, génesis, y clasificación de suelos

En aquellos años, fue autor, entre otros muchos trabajos, junto a los Dres. González García y Chaves, del “Estudio agrobiológico de la provincia de Sevilla (1962)”, el “Estudio agrobiológico de la provincia de Cádiz” en 1965, y, finalmente, en el de Córdoba, publicado en 1971.

Hasta 1961, había trabajado, sobre todo, en suelos del Valle del Guadalquivir y sentía mucha curiosidad por conocer los suelos de Sierra Morena, especialmente si los comparaba con los del Valle del Guadalquivir. En este sentido, acometió su estudio a partir de 1961, cristalizando posteriormente en una tesis doctoral (la primera que dirigió) sobre el “Estudio de los suelos de Sierra Morena Occidental”.

Realizamos gran cantidad de excursiones hasta poder sintetizar bien cuál era la diversidad de suelos en un área geológica tan complicada. Eran tiempos heroicos con pocos medios y recuerdo que los desplazamientos los hacíamos en un Renault Ondine que tenía D. Guillermo.

Como su curiosidad era grande, le atraía también estudiar los suelos de las terrazas del Guadalquivir, de manera que aquellos estudios dieron su fruto en cuatro tesis doctorales: “Propiedades, génesis y clasificación de suelos de terrazas del Guadalquivir” realizada por el Dr. Clemente Salas, “Reconocimiento y evaluación de suelos de terrazas del Guadalquivir” por el Dr. de la Rosa Acosta, “Morfología y propiedades químicas de suelos de terrazas del Guadalquivir de la zona Posadas - Fuente Palmera (Córdoba)” por el Dr. Medina Carnicer, y “Estudio y correlación de propiedades químicas, físicas y micromorfológicas de suelos de terrazas del Guadalquivir” por el Dr. Baños Moreno.

También de la misma época fue la tesis del Dr. Mudarra Gómez “Estudio de los suelos de la cuenca del Guadalquivir”

Siempre dentro de la misma línea de investigación y durante sus años en el CSIC, participó como coautor en el Mapa de suelos de España a escala 1:1.000.000 publicado en 1968.

Una línea de trabajo que siguió en aquellos años, y otros posteriores, fue la Micromorfología de suelos. En el año 1958, asistió en Madrid a unas conferencias que sobre este tema pronunció el profesor Dr. W. Kubiena, de la Universidad de Hamburgo.

El tema lo apasionó de tal manera que, en 1959, obtuvo una beca porque quería conocer la aplicación de las técnicas de Micromorfología en el estudio de los suelos. Se desplazó unos meses a la Universidad de Hamburgo junto al profesor Kubiena.

No solo fue esta técnica una ayuda más en sus trabajos sobre suelos, sino que llegó a ser, en 1970, miembro del International Working Group on Soil Mikromorphology. Asistió con este grupo a reuniones en Wageningen (Holanda), Braunwigs-Völkerode (Alemania) y la Universidad de Gantes (Bélgica). Este capítulo de la Edafología, entonces en formación, dio lugar a muchas publicaciones en diferentes países y, desde luego, en gran parte de los trabajos del Prof. Paneque .

La obra más significativa, que fue como un resumen de los trabajos realizados del Grupo Internacional sobre Micromorfología de suelos, fue Glossary of Soil Micromorphology editado en Holanda por A-Jonjerius y G.K-Rutherford.. y también Handbook for Soil Thin Section Description editado por P.Bullock

PROFESOR UNIVERSITARIO

La curiosidad y el deseo de experimentar nuevos horizontes lo lleva en 1968 a solicitar del CSIC el permiso para poder impartir la enseñanza de Edafología en la Facultad de Ciencias - Sección de Biológicas de la Universidad de Sevilla. Enseñanza que continuó hasta 1972.

Pero el experimento lo convenció definitivamente y, en 1972, tras realizar un concurso-oposición, es nombrado profesor agregado de Química Agrícola (Química Agrícola y Edafología) en la Universidad de Sevilla, situación que mantuvo hasta 1975.

Aquí tenemos a D. Guillermo en su misma ciudad, rodeado de gran número de colaboradores y, después de haber dirigido numerosas tesis doctorales y trabajos variados en suelos, solo ante el peligro. Tenía que comenzar de nuevo a formar personas para ser nuevos colaboradores, ya que los anteriores eran personal del CSIC.

Pero no perdió el tiempo. Comenzó estudiando los suelos de la Sierra del Pinar en Grazalema y suelos de algunas áreas concretas de Sierra Morena. Fueron tesis de licenciatura que dieron lugar a varias publicaciones y que cristalizaron en dos tesis doctorales, "Alteraciones de rocas y formación de suelos en el área de Riotinto (Huelva) por el Dr. Heredia Moreno, y "Estudio edafológico de la Sierra del Pinar (Grazalema, Cádiz)" por el Dr. Corral Mora.

En 1975, vence un concurso de acceso entre profesores agregados y es nombrado catedrático de Química Agrícola (Química Agrícola y Edafología) en la Universidad de Córdoba.

Nuevos retos para el Prof. Paneque. Recién llegado, es nombrado primer decano de la Facultad de Ciencias de Córdoba. Reuniones, solicitudes, búsqueda de espacios, adquisición de equipamientos y ese largo etcétera que se organiza en situaciones parecidas.

Por otra parte, debe organizar de nuevo la formación de personal para su cátedra que estaba por desarrollar. Tuvo la suerte de que el Dr. Corral Mora se trasladó también a Córdoba y, al menos en parte, pudieron compartir el trabajo.

En la vertiente investigadora y, después de estar estudiando los suelos de la Sierra del Pinar (Grazalema, Cádiz) le atrajo fuertemente el hábitat del *abies pinsapo* y los suelos de montaña asociados. Cuando los trabajos docentes estuvieron organizados, se decidió a conocer estos hábitats.

De manera que, acompañado de Land Rover y remolque, y junto al Dr. Corral Mora, se encaminaron primeramente a Marruecos para la descripción y toma de muestras de suelos forestales bajo *abies marroccana* y *cedrus atlantica* en el Rif.

Posteriormente, a Grecia donde visitaron las áreas forestales de *abies cephalonica* en Kalamata, Potisión, Kosmas, Parnon y Vitina y visitaron, además, la Dirección General de Bosques en Atenas.

El año siguiente (1981), el desplazamiento fue a Turquía, a las regiones de Anatolia, Nigda y Marsin. Allí describieron y tomaron muestras de suelos bajo *abies cilíctica*.

El mismo año, se desplaza a Argelia y visita el Parque Natural de Monte Babor. Allí estudian los suelos forestales bajo *cedrus atlantica*, *quercus faginea* y *abies numídica*.

El conocimiento adquirido sobre estos suelos forestales dio, como fruto, otras publicaciones y tesis doctorales como “Estudio de la materia orgánica de suelos de la Serranía de Grazalema” (Dra. Mérida García), “Estudio de la materia mineral de suelos de la Serranía de Grazalema” (Dr. González Fernández) y “Parámetros químicos de suelos forestales de abetos y cedros de montañas circunmediterráneas.” (Dra. Marín Moral).

Durante su estancia en Córdoba, no descuidó las líneas de trabajo sobre génesis, clasificación, propiedades y fertilidad de los suelos. Concretamente, sobre estos temas fueron cinco las tesis doctorales realizadas en suelos de la provincia de Córdoba.

Quiero hacer notar que, como es obvio, de todas las tesis dirigidas por el Prof. Paneque, se desprendieron numerosas publicaciones, presentaciones, tesis de licenciatura cuya enumeración sería imposible en el tiempo dedicado a este acto.

ETAPA SEVILLANA 2ª

En 1981, es nombrado catedrático de Química Agrícola en la Universidad de Sevilla. De nuevo, se traslada a Sevilla y comienza el periodo de desarrollo. Al principio, tuvo un problema de espacio que, afortunadamente, se solventó un tiempo después con la apertura del nuevo edificio de Química en el Campus de Reina Mercedes.

En paralelo, y de nuevo, comienza la formación de personal, tarea no fácil porque se tropieza con los recursos disponibles, especialmente aquellos que a medio plazo proporcionan estabilidad laboral a las personas.

La producción científica fue, a pesar de todo, intensa porque, afortunadamente, Córdoba está cerca, y ello permitió la fácil relación con sus anteriores colaboradores de la Universidad de Córdoba. Existían gran número de trabajos inacabados que hubo que terminar, entre ellos, algunas tesis doctorales.

Los primeros trabajos que se acometieron en Sevilla fueron en la línea de suelos y nutrición vegetal como “Estudio de las características agrobiológicas del cultivo del *papaver somniferum* o la confección de tres hojas del mapa de suelos en la primera fase del proyecto LUCDEME”.

En cualquier caso, y hasta aproximadamente el final de los 80, no se puede decir que tuvo unas estructuras suficientemente establecidas.

En la década de los noventa, que para D. Guillermo fue la propia de los sesenta y, claro está, él seguía con inquietudes y deseos de conocer nuevos campos. De manera que, sin abandonar su actividad en el campo de la Edafología, deja a otras personas del departamento liderar esa actividad y se dedica al desarrollo de una nueva línea de trabajo sobre Viticultura y Enología.

Estudió la “Zonificación vitivinícola de la D.O. Jerez-Xérès-Sherry y Manzanilla-Sanlúcar de Barrameda”, “Zonificación vitícola del término municipal Bollullos Par del Condado (Huelva)”, “Caracterización físico-química de algunos mostos recién fermentados de El Aljarafe sevillano”, “Estudio de zonación vitícola en la D.O. Montilla Moriles usando la variedad Pedro Ximénez como referencia” y varios trabajos relacionados con el tema.

En este periodo, y dentro de esa línea de investigación, se leyeron las tesis “Aspectos edafo-agrícolas de la D.O. Condado de Huelva.” de la Dra. Mato Iglesia, “Estudio de factores físicos y biológicos de la comarca vitivinícola de El Aljarafe Alto (Sevilla)” de la Dra. Paneque Macías. y “Zonificación vitícola de la región con D.O. Montilla-Moriles (Córdoba), de la Dra. Osta Fort.

El Prof. Paneque, preocupado porque en aquel tiempo no existía una enseñanza de Enología en la Universidad de Sevilla, realizó el intento de introducir varias lecciones en la asignatura de Química Agrícola de la Facultad de Química y también creó una asignatura de libre configuración sobre Viticultura y Enología que, durante varios años, tuvo mucho éxito.

En el año 2000 fue nombrado profesor emérito y, como tenía que seguir haciendo cosas, aprovechó los cambios en la normativa de profesores eméritos y pudo trabajar hasta el año 2007.

Después, como todos, tuvo que adaptarse a la nueva situación. Poco después, yo me jubilé también. Él seguía curioso e interesado por cosas como el primer día, de manera que los dos satisfacíamos parte de nuestra curiosidad visitando los jueves el mercadillo de “El Jueves” en la calle Feria.

GUILLERMO PANEQUE GUERRERO, ACADÉMICO NUMERARIO DE LA REAL ACADEMIA SEVILLANA DE CIENCIAS

*Por el Excmo. Sr. D. Benito Valdés Castrillón,
presidente del Instituto de Academias de Andalucía,
en la sesión necrológica del día 12 de marzo de 2020.*

El 15 de mayo de 1985, un decreto de la Presidencia de la Junta de Andalucía creaba la Academia Sevillana de Ciencias¹, que obtendría seis años más tarde, el 29 de abril de 1991, el título de Real, por concesión de la Casa del Rey².

Era el resultado de un largo proceso que se puso en marcha en febrero de 1976 por iniciativa del Colegio Oficial de Químicos de Sevilla, la Asociación de Químicos de Andalucía, el Colegio Oficial de Doctores y Licenciados de Sevilla, los centros sevillanos del Consejo Superior de Investigaciones Científicas y la industria química de Sevilla³.

Propuesta inicialmente al Ministerio de Educación y Ciencia como Academia Sevillana de Química⁴, se materializó finalmente, después de transferidas por el Estado a la Comunidad Autónoma de Andalucía las competencias sobre Academias, como una Academia Sevillana de Ciencias, con cuatro secciones: Química, Física, Matemáticas y Biología, quizás porque la Comisión Gestora nombrada para su formación, elaboración de estatutos y propuesta de sus primeros 12 Académicos Numerarios, estaba formada por los decanos de los colegios de Químicos y de Doctores y Licenciados de Sevilla, y por los de las Facultades de Química, Física, Matemáticas y Biología de la Universidad de Sevilla⁵.

Su estructura reflejaba en cierto modo la composición de la antigua Facultad de Ciencias de Sevilla, que es la única en Andalucía en la que sus Secciones se han separa-

1. Decreto 102/1985, de 15 de mayo, por el que se crea la Academia Sevillana de Ciencias. *BOJA* 62: 1595-1597, 1985.

2. Valdés, B. (1993). Memoria de la Real Academia Sevillana de Ciencias. Año 1991. *Mem. Real Acad. Sev. Ci.* 2: 19-24, p. 19.

3. Gómez Sánchez, A. [sin firmar] (1991). Creación de la Academia Sevillana de Ciencias. *Mem. Acad. Sev. Ci. I*: 15-31, p. 15.

4. Soto Cartaya, A. (2003). Celebración del décimo aniversario de la Real Academia Sevillana de Ciencias. *Mem. Real Acad. Sev. Ci.* 5: 315-319, p. 317; Gabaldón de la Banda, J. F. & M. Ternero Rodríguez (2018). *Químicos del Sur. Una profesión al servicio de la sociedad*. Sevilla, Moreno Artes Gráficas, p. 226.

5. Gómez Sánchez, A., loc. cit., p. 16.

do como Facultades independientes, por lo que es la Academia, en cierto modo, la que sigue manteniendo el nexo de unión entre los profesionales de esas cuatro Facultades.

La Academia Sevillana de Ciencias se constituyó en un acto solemne celebrado el 28 de mayo de 1986 en la sede de la Real Academia de Bellas Artes de Santa Isabel de Hungría de Sevilla, en el que el Consejero de Educación y Ciencia de la Junta de Andalucía dio posesión a los 12 primeros Académicos⁶.

Pero los miembros de la nueva Academia consideraron que, para cubrir todas las áreas del conocimiento que tradicionalmente se han reunido bajo el nombre de ciencias, había que completarla con la creación de una sección de Ciencias de la Tierra, y, por extensión, otra de Tecnología. Y así se aprobó en una Junta General Extraordinaria celebrada el 26 de enero de 1993⁷.

El 25 de junio de ese mismo año, en Junta General Extraordinaria, se aprobó la propuesta de nombramiento de los tres primeros Académicos Numerarios de la Sección de Ciencias de la Tierra: D. Guillermo Paneque Guerrero, D. Emilio Galán Huertos y D. Francisco Ruiz Berraquero⁸. Los tres, desgraciadamente, fallecieron en un breve periodo de siete meses. El 29 de junio de 2018, D. Francisco Ruiz Berraquero, y en 2019, D. Emilio Galán Huertos el 29 de enero, y D. Guillermo Paneque Guerrero el 13 de febrero.

El Ilmo. Sr. D. Guillermo Paneque fue el primero de la Sección en incorporarse a la Academia. Lo hizo el 17 de octubre de 1995, tras la lectura de un brillante discurso titulado “Los suelos del pinsapar: morfología y funciones”, que se encuentra publicado en el cuarto volumen de las Memorias de la Real Academia Sevillana de Ciencias⁹. Fue contestado, con un emotivo discurso, por el Excmo. Sr. D. Francisco González García, quién había sido director de su tesis doctoral, que, presentada en la Universidad de Granada con el título de “Composición mineralógica y génesis de algunos tipos de suelos calizos béticos”, valió a Guillermo Paneque el título de doctor en Farmacia¹⁰.

En su discurso de entrada, se puso de manifiesto que los conocimientos del Dr. Paneque iban mucho más allá que los relacionados con la edafología y química del suelo, y que su capacidad de observación le permitía reconocer otros aspectos del medio natural en el que se desarrollaban sus investigaciones, pues incluía un estudio de la vegetación que bien podría haber sido escrito por un experto fitosociólogo, lo que demostraba que no sólo conocía a la perfección las formaciones vegetales de los pinsapares andaluces y de los del resto de la región mediterránea, sino que estaba familiarizado con los trabajos de los más destacados botánicos españoles, marroquíes y argelinos.

6. Márquez Delgado, R. (2003). Celebración del décimo aniversario de la Real Academia Sevillana de Ciencias. *Mem. Real Acad. Sev. Ci.* 5: 319-322, p. 319.

7. Valdés, B. (1996). Memoria de la Real Academia Sevillana de Ciencias. Año 1993. *Mem. Real Acad. Sev. Ci.* 3: 23-28, p. 23.

8. Valdés, B. (1996). loc. cit., p. 24.

9. Paneque, G. (1999) Los suelos del pinsapar: morfología y funciones. *Mem. Real Acad. Sev. Ci.* 4: 47-108.

10. González García, F. (1999). Discurso pronunciado por el Excmo. Sr. D. Francisco González García. *Mem. Real Acad. Sev. Ci.* 4: 109-117, p. 110.

En 1997 quedó formalmente constituida en la Academia la Sección de Ciencias de la Tierra, con el Dr. Paneque como su presidente, cargo que ostentó hasta 2016, año en el que fue sustituido como presidente de la Sección por D. Emilio Galán Huertos.

Guillermo Paneque fue un miembro muy activo de nuestra Academia. Dirigió la Sección de Ciencias de la Tierra, impulsó sus actividades y participó en sus propuestas. Se ocupó de contestar el 13 de mayo de 2013 el discurso de entrada en la Academia de su compañero y amigo, el Ilmo. Sr. D. Diego de la Rosa¹¹, quien se incorporó a dicha Sección. Asistió, salvo en los dos últimos años, a todas las juntas generales de la Academia, en las que sus intervenciones eran siempre bienvenidas por lo oportunas y acertadas, contribuyendo así notablemente al funcionamiento de la Academia, al poner a su servicio sus conocimientos y experiencia. Asistió regularmente a todos los actos públicos, tanto conferencias organizadas por la Academia, como a las sesiones de incorporación de nuevos Académicos y apertura de curso.

Pero su espíritu académico le llevó, además, a tomar parte en los actos organizados en Sevilla por el Instituto de Academias de Andalucía. Y, cuando en 2014 se celebró en Écija la apertura de curso del Instituto, manifestó su deseo de asistir en cuanto recibió la invitación. Écija era su ciudad natal. Allí habían nacido también dos de sus 10 hermanos: Antonio y Miguel. Hacía muchos años que no la visitaba, lo que era un motivo más para asistir a la apertura de curso del Instituto.

Así que el día 15 de noviembre salimos de Sevilla en mi coche, bien de mañana, Juanita, Guillermo y yo. Guillermo disfrutó enormemente tanto en el acto académico como en la copa que se sirvió a continuación, reencontrándose con sus paisanos y con varios de sus amigos y colegas de la Universidad de Córdoba, de cuya Facultad de Ciencias había sido catedrático y decano. Y por la tarde pudo visitar su antigua parroquia, y en ella la pila bautismal en la que había sido bautizado. La felicidad se dibujaba en la expresión de tu rostro.

Formó parte, cuando por turno rotativo le correspondía, de los jurados de concesión de los Premios para Investigadores Jóvenes que, financiados desde 1989 por la Real Maestranza de Caballería de Sevilla y la Real Academia Sevillana de Ciencias, falla anualmente nuestra Academia. Intervino así, con gran acierto e imparcialidad, en la concesión de los correspondientes a 1996, 2000, 2003 y 2006.

Además, intervino en cuatro ocasiones en los ciclos de conferencias de divulgación científica que, bajo el nombre de “Los Martes de la Academia” y por iniciativa del Excmo. Sr. D. Rafael Márquez Delgado, nuestro Presidente de Honor, se celebran anualmente desde 1998. El primero se celebró en la Facultad de Física; el segundo en la sede provisional de la Academia, en la calle Argote de Molina, sede que, por circunstancias que ahora no vienen al caso, no pudo ocupar nuestra Academia como definitiva. Pero desde el año 2000, los “Martes de la Academia” se celebran en la sede del Ateneo de Sevilla, con lo que la Academia se abre a la sociedad sevillana para divulgar la ciencia y la tecnología.

11. Paneque, G. (2014). Discurso pronunciado por el Ilmo. Sr. D. Guillermo Paneque Guerrero. *Mem. Real Acad. Sev. Ci.* 16: 65-76.

La primera intervención del Dr. Paneque en este ciclo tuvo lugar en 1999, con una conferencia titulada “Zonación vitícola”¹². Trató en ella de la relación entre los principales factores del medio, fundamentalmente climáticos y edáficos, y la calidad de los vinos producidos en las distintas regiones vitícolas, distinguiendo en Andalucía los del Condado de Huelva, Montilla-Moriles, Jerez y Málaga, a los que añade, al mismo nivel, los del Aljarafe Alto. Si esto último es acertado o no, nadie mejor para juzgarlo que su hija Patricia, a quien Guillermo inculcó su interés por el estudio de los vinos y los factores que los condicionan, y que realizó, bajo su dirección y la del Dr. Íñigo Leal, una magnífica tesis doctoral sobre los vinos del Aljarafe¹³ que incluía desde el estudio de los suelos hasta el de los vinos producidos en esa comarca, sin olvidar la precisa identificación de todas las levaduras que intervienen en las distintas fases de transformación del zumo de uva en un vino maduro.

El Prof. Paneque impartió su segunda conferencia en “Los Martes de la Academia” el 12 de marzo de 2004, sobre “Materia orgánica del suelo”, tema puramente edafológico¹⁴. Pero volvió a mostrar su interés por los vinos en sus dos siguientes conferencias, sumamente apropiadas como divulgativas de la ciencia, que es lo que se persigue en “Los Martes de la Academia”: “Las tierras del marco de Jerez para finos y manzanillas”, impartida el 6 de mayo de 2008¹⁵, y “Zonas vitícolas y vinos de Málaga”, el 26 de mayo de 2013¹⁶. Esta última conferencia fue seguida de una cata de vinos de Málaga celebrada en el patio del Ateneo, en la que todos los asistentes a la conferencia pudimos pasar un rato sumamente agradable. Entre nosotros se encontraba su hermano Antonio, magnífico bioquímico, cuya valía creo que no hemos aún valorado debidamente, que, lamentablemente, nos dejó dos semanas antes de la celebración de esta sesión. Disfrutó, como todos nosotros, tanto de la conferencia como, sobre todo, de la cata que le siguió, en la que Guillermo mostró sus dotes como catador de vinos. Es el recuerdo más afectivo y agradable que, al menos a mí, me queda de los dos hermanos.

Para Guillermo, fue el último acto público en el que intervino como protagonista en el seno de la Academia. Pocos años después, su salud comenzó a deteriorarse, lo que no le permitía asistir a los actos de la Academia con la asiduidad que le caracterizaba, hasta que, a partir de 2006, dejamos de contar con su presencia. Todavía en 2015 se animó a asistir al homenaje que, en el campus de La Rábida de la Universidad Internacional de Andalucía, le rindieron sus discípulos, colaboradores y colegas.

En mayo de 2018, firmó en su domicilio la propuesta de nombramiento como Académico Numerario del Prof. D. Joaquín Rodríguez Vidal, nuestro actual Secretario General. Fue la última intervención de Guillermo Paneque a favor de la Academia.

Descanse en paz nuestro querido amigo y compañero.

12. Paneque, G. (2005). Zonación vitícola. *Mem. Real Acad. Sev. Ci.* 6: 277-286.

13. Paneque Macías, P.I. (2000) *Estudio de factores físicos y biológicos de la zona vitivinícolas del Aljarafe Alto (Sevilla)*. Tesis Doctoral, Universidad de Sevilla.

14. Paneque, G. (2006). Materia orgánica del suelo. *Mem. Real Acad. Sev. Ci.* 8: 215-135.

15. Paneque, G. (2009). Las tierras del marco de Jerez para vinos y manzanillas. *Mem. Real Acad. Sev. Ci.* 11: 277-303.

16. Paneque, G. (2014). Zonas vitícolas y vinos de Málaga. *Mem. Real Acad. Sev. Ci.* 16:171-202.

VIVIR A RAS DE SUELO

*Por la profesora Patricia Paneque Macías,
en la sesión necrológica del profesor
Guillermo Paneque Guerrero,
el día 12 de marzo de 2020.*

Excmo. Sr. Presidente de la Real Academia Sevillana de Ciencias, Excmo. Sr. Presidente del Instituto de Academias de Andalucía, Sra. Decana de la Facultad de Química, Sra. Delegada del CSIC, Académicos, compañeros de Universidad y del CSIC de mi padre, señoras y señores...

La familia de D. Guillermo Paneque se siente muy honrada y orgullosa por esta sesión que, en recuerdo a su labor y figura, organiza la Real Academia Sevillana de Ciencias. Nuestro agradecimiento también al profesor Valdés y al profesor Bellinfante, que, con sus palabras, han expuesto, muy acertadamente, el perfil académico, científico y docente de mi padre. También queremos agradecer la amistad, cariño y compañía que muchos habéis dedicado a nuestro padre durante su vida y, en especial, durante sus últimos meses. Por otra parte, mis hermanos aquí presentes y yo sentimos profundamente la ausencia de nuestra madre y de nuestro hermano Quico, que, por motivos del avance de la COVID, no han podido acompañarnos esta tarde.

Nuestro padre era un hombre de familia. Provenía de una muy numerosa, en la que era el noveno de once hermanos. Dos de ellos, Paco y Antonio, se dedicaron también a las Ciencias, a la de Químicas. A él le hubiera gustado estudiar Ingeniería Agronómica, pero la imposibilidad de trasladarse a Madrid hizo que se licenciara en Farmacia por la Universidad de Granada. Siendo profesor en el Departamento de Química Inorgánica de la Universidad de Sevilla conoció a mi madre, que en ese momento realizaba su tesis. Con ella se casó y formó una familia numerosa, a la que ambos se dedicaron con entrega y devoción. Ciertamente, ha sido un matrimonio volcado en todo momento con sus seis hijos, para atender las necesidades particulares de cada uno de ellos y de todos en conjunto.

Siempre con poco afán protagonista, era de esas personas que hablan con sus silencios, que dicen con sus gestos y enseñan con sus acciones. Fue un padre presente, que, con mi madre formó un perfecto equipo, con un proyecto de vida compartido, en el que sus hijos han sido lo más importante. Entre ellos siempre reinó un absoluto respeto y confianza; se complementaron y apoyaron, y pueden sentirse satisfechos por el éxito alcanzado en el proyecto que juntos iniciaron.

Como le gustaba decir, vivió *a ras de suelo*. Y eso se reflejó en su actividad docente e investigadora y también en su forma de vida. Mi padre era como los suelos francos: el resultado de rasgos personales, a veces muy opuestos, como lo son la arena y la arcilla en el suelo, que finalmente se equilibran para dar lo mejor de sí. Poroso y tolerante, pero con capacidad de retener lo importante de la vida, y con valores bien arraigados. Era nervioso, de cabeza inquieta, de andares y movimientos rápidos, a veces bruscos... pero también exquisito en el trato y detalle con las personas, capaz de encontrar la tranquilidad y serenidad sentado ante libros abiertos, y la templanza frente a las adversidades que presenta la vida.

Fuimos testigos de la plenitud con la que disfrutaba de sus aficiones, sencillas, a las que pudo dedicar más tiempo una vez jubilado y que, cómo no, estaban muy vinculadas por su pasión por la Naturaleza. Nuestro padre dedicaba la mayor parte de su tiempo libre y vacaciones al cuidado de su finca en Olivares, en el Aljarafe Alto sevillano. En esta pequeña finca, solía pasar largas tardes de verano, primavera y otoño entregado a la tarea de regar plantas y césped del jardín; pero más cariño y cuidado aún les ponía a sus naranjos, uno de sus grandes tesoros, mercedores de una especial atención.

En los últimos años, ya jubilado, dedicaba las primeras horas de la mañana, o las últimas de la tarde, al riego de los naranjos. Si no coincidía con los periodos de vacaciones familiares, solía ir varias veces por semana al campo. La jornada comenzaba con un corto trayecto en coche, escuchando las noticias en la radio o disfrutando de los éxitos de Carlos Cano, uno de sus artistas preferidos. Ya en el campo, estaba pendiente del riego, quitaba malas hierbas con la soletilla, o, simplemente, se sentaba en un viejo banco de madera a contemplar sus naranjos, a escuchar y reflexionar. Esta rutina tenía su merecida recompensa en los meses de invierno con la recogida de las naranjas.

Y este amor que sentía por sus naranjos, con su jubilación, derivó en otra afición que le dio muchas satisfacciones: la elaboración de mermeladas, con naranjas y limones de su finca, pero también, una vez que el hobby se convirtió, casi, casi, en profesión repostera, con pomelos, naranjas amargas, fresas, higos, calabaza y tomates. Se ilustró con varios libros de repostería de nuestro hermano Quico y a eso sumó su espíritu científico para crear un método propio de elaboración de estas mermeladas, en las que había logrado un altísimo nivel de perfección, con el punto justo de dulzor, para potenciar el sabor del cítrico.

En Olivares, también se volcaba con otra de sus más queridas aficiones, su bodeguita. Un ejemplo más de la ciencia llevada a su vida privada y de su conexión con la Tierra. En primavera de 1988, junto con un buen grupo de familiares y amigos, asistimos a su inauguración. Yo estaba entonces en mi primer curso de Farmacia, y quién adivinaría que, con el tiempo, el vino ocuparía el papel central y más querido de mi investigación y docencia. Quizá él ya lo proyectaba.

Disfrutó elaborando unos vinos deliciosos, muy apreciados por los amigos e incluso por expertos, que cuidaba y mimaba, y que solía refrescar con mosto que compraba en Montilla. Aprovecho para comentarles que, en 1993, para celebrar su nombramiento de Académico electo, bautizó a uno de ellos con el nombre de *Amontillado Académico*. También puso el nombre de cada uno de sus hijos a seis de sus botas; y decoró cuida-

dosamente el espacio de la bodega con una amalgama de objetos, algunos antiguos y otros no tanto, que pertenecieron a la familia, o que fue adquiriendo en el mercadillo del Jueves. Hace no tantos años, hizo un gráfico de la bodega de Olivares, con indicaciones de cómo realizar el cuidado de los vinos, del que regaló una copia a cada hijo. Un primer “aviso” de su conciencia del pasar por la vida, del legado que, ya entonces, nos estaba preparando.

Era también muy observador y reflexivo. En Olivares encontraba el descanso merecido, sentando en la terraza de la casa, absorto con el infinito de las vistas del campo. Contemplaba sin prisa cielo y tierra, deteniéndose en los pájaros que se acercaban a beber en la piscina, o a picotear en el césped. Y disfrutaba viendo pasar generosamente el tiempo. Así lo hacía en las mañanas soleadas de invierno, pero, sobre todo, en las largas tardes de verano, cuando, ya después de la siesta, se levanta la “mareíta”, esa brisa proveniente del mar, que muchas tardes refresca estas tierras aljarafeñas no tan lejanas de la costa como se podría pensar. No en vano, nos descubrió que, desde una de las terrazas, es posible contemplar el haz de luz del faro de Chipiona, cuya cadencia singular de 10 segundos nos gusta contar en las noches despejadas, a la espera de la aparición de nuevo del punto de luz.

La finca de Olivares ha sido testigo y parte de maravillosos momentos; allí hemos pasado largas temporadas desde niños. En la tranquilidad del campo, le gustaba contar-nos historias fantásticas, que creímos o quisimos creer. Tenía una versión particular de “El libro de la Selva”, con su capítulo especial dedicado al encuentro con la serpiente, que, mirándolo fijamente a los ojos, le decía *Duerme, D. Guillermo, duerme...* O la historia de la hormiguita Emilita, que guardaba en una caja de cerillas, o del cinturón que se hizo con la piel de una serpiente. Historias que después ha repetido con el mismo entusiasmo a sus nietos, y que todos recordamos. También allí, y bajo la sombra de una falsa pimienta, descansa su querido Land Rover con el que durante años recorrió cientos de kilómetros en sus salidas de campo.

Era un hombre vitalista y disfrutón de estas pequeñas aficiones, y generoso con ellas. No dudaba en compartir la cosecha de sus naranjos entre familiares y allegados, con el comedor social del convento de Pagés del Corro, a donde llevaba personalmente cajones y cajones de esta fruta, y con nuestras queridas monjas clarisas capuchinas de Santa Rosalía. Gustaba de regalar los higos y brevas que producían las higueras del campo, preciosamente colocados entre hojas de este árbol; también sus exquisitas mermeladas, últimamente con un original y personal etiquetado diseñado por nuestro hermano Guillermo, y de compartir vinos y momentos muy entrañables con familia y amigos en su bodega del campo, donde, venencia en mano, seguía su labor docente explicando las características de sus caldos.

Sus aficiones no se detenían en el campo. El profesor Bellinfante puede dar fe de su gusto por las visitas al Jueves, ese mercadillo donde uno puede encontrar y perder casi todo. Era un ritual los paseos por el Jueves con Nicolás y Paco López, en busca, siempre, de objetos domésticos antiguos, utensilios de laboratorio, libros antiguos de ciencias o de poesía y alguna que otra cosa más que se hiciera irresistible a los ojos de

nuestro padre. Gran parte de los objetos que compraba en este mercadillo terminaban en dos lugares: su bodega de Olivares y el despacho en su casa de Sevilla.

Ese despacho, su “cueva de Alí Babá”, era otro de sus refugios. Allí se sentaba a leer, a sacar recortes de periódicos que iba coleccionando, escribía en sus cuadernos, preparaba sus trabajos, sus conferencias, siempre acompañado de sus libros de la Universidad y de sus variados diccionarios. Porque era de Ciencias, pero también contaba con una sensibilidad especial para las Artes. Le gustaba cuidar y elegir bien cada palabra de sus escritos, y en todo lo que hacía buscaba la armonía y la belleza. Entre los libros que usaba también había ejemplares de poesía, incluso de poesía portuguesa, siempre que hablaran de la naturaleza, del suelo y los campos, del vino y las plantas. Versos que después usaba para sus conferencias y charlas, ya en su etapa de jubilado, cuando uno se muestra como es, sin pudor y sin miedo a romper estereotipos o imágenes preconcebidas.

En sus últimos meses de vida, recolectaba hojas de árboles en sus paseos por el centro, y las colocaba en cuadernos, como en los herbarios de botánica. Y esos cuadernos los adornaba con poesías que él mismo escribía, como esta:

*Hojas del árbol caídas
juguetes del viento son.
Las ilusiones perdidas
son hojas caídas del corazón.*

Mi padre fue también mi maestro. Él co-dirigió mi tesis doctoral y de su mano me formé en la tarea de la investigación y de la docencia. Aprobada mi última asignatura de Farmacia, me incorporé a su grupo de investigación a raíz de un contrato con Alvear. Muchas personas con las que entonces me encontré no me eran desconocidas, ya las había visto por casa o escuchado nombrar. Porque a mi padre le gustaba unir a las personas que trabajaban con él, no solo por lazos laborales sino también personales, creando una familia; seguramente, muchos así lo habéis sentido también.

No tuvo que ser siempre fácil o cómodo para él tener a su hija tan cerca, familia y trabajo unidos. Pero después de tantos años, maravillosos, aunque también con algún momento crítico y difícil, puedo decir que me siento muy afortunada y agradecida por todo ese tiempo que compartimos juntos como maestro y aprendiz, que es una gran satisfacción y orgullo haber aprendido de él y que, por qué no decirlo, también lo fue para él tenerme allí y formarme en este otro aspecto de la vida, como me lo hizo saber con palabras sencillas e inesperadas para mí, cuando yo me iba despegando de sus alas, y él se iba despidiendo de su despacho en esta Facultad

Muchas son las imágenes que de él se me vienen a la cabeza, pero las más significativas son las de las salidas de campo. Era preciso y metódico en los preparativos de mapas, rutas, material... pero una vez en faena, en su medio, su entusiasmo, más que liberarse, explotaba en su forma de llevar el Land Rover por carriles a veces no muy transitables, en horas de trabajo en campo con el único alivio, y no siempre, de un mercadillo, en caminatas ágiles en las que nos dejaba a todos atrás, en explicaciones frente

a un perfil de suelo abierto... disfrutaba y disfrutábamos con él, a todos nos contagiaba ese entusiasmo, y de esas salidas de campo guardamos recuerdos maravillosos y numerosas anécdotas.

De mi padre, quisiera resaltar su valentía en afrontar nuevos retos profesionales, siempre de forma responsable y consecuente; su constancia y capacidad infinita de trabajo y de seguir aprendiendo; la elegancia y precisión de sus escritos; su facilidad para comunicarse con los alumnos y transmitir sus conocimientos y entusiasmo por la materia; los dedos manchados de tiza y la pizarra repleta de frases y esquemas al final de sus clases, y la puerta siempre abierta de su despacho, con una silla para recibir a quien llamara a ella.

Como se está poniendo de manifiesto en este acto, nuestro padre sentía pasión por la Tierra, puramente, y por los suelos. A petición de nuestro hermano Guillermo, escribí algunas reflexiones sobre su vida. Y, entre ellas, dijo esto, al hilo del Día Mundial del Suelo:

Suelo y Tierra, Tierra y Suelo, muy pronto lo vieron nuestros ojos y pronto tocaron toda nuestra piel de todo nuestro cuerpo.

De niño nos decían nuestros padres y mayores “no juguéis con la tierra”... Después vivimos de ella y morimos en ella. Por todo esto, y por mucho más, soy un enamorado de la Tierra.

Un insigne médico traumatólogo sevillano, al hablarle de mi tendencia a la tierra que piso al andar, trató de convencerme de que la tierra no tiene ningún teléfono que me llame. Yo no lo creo, porque la Tierra me corresponde.

También todos mis alumnos en Edafología la aman y por ello estamos muy contentos con la institución y celebración del Día Mundial del Suelo, dedicado al Conocimiento, Conservación y Mejora de Tierras y Suelos.

Ese amor de nuestro padre por la Tierra lo vivió hasta los últimos momentos de su vida, cuando, ya enfermo, cada vez que pasaba por la biblioteca de casa, se detenía a contemplar, con orgullo, su colección de rocas y minerales. Disfrutaba ante esa visión, ensimismado como un niño. Tal vez todavía entonces, esa contemplación le recordaba todo lo vivido en sus largas décadas de investigador y maestro de la Ciencia del Suelo, a pesar de las lagunas de memoria que ya tenía. Ni siquiera en los momentos duros de esa enfermedad que, en apenas un año, le devoró la vida, perdió nuestro padre su franca sonrisa, su infinita curiosidad y sus ganas de aprender y conocer el mundo que lo rodeaba. Celebraba el vivir y continuamente se sentía agradecido por todo. Por los días luminosos, por el alimento que, cada vez con menos apetito, saboreaba. Por la cariñosa compañía de los suyos, por las caricias y los besos que le dimos en esa etapa final.

El legado de nuestro padre, finalmente, no ha sido su querida finca de Olivares, ni sus naranjos ni vinos... Su auténtico legado es el ejemplo que nos dio de honestidad, generosidad y entrega; de coherencia entre sus convicciones y valores y sus gestos; de inquietud por seguir aprendiendo; de juventud, a pesar de los años, y de pasión por la vida; de amor, respeto y cuidado a la familia, a las personas y a la Naturaleza, y de encontrar la felicidad en las cosas sencillas de la vida, *a ras de suelo*.

Muchas gracias.

*MEMORIAS
DE LA
REAL ACADEMIA SEVILLANA DE CIENCIAS
2021*

RELACIÓN DE MIEMBROS DE LA REAL ACADEMIA SEVILLANA DE CIENCIAS A DICIEMBRE DE 2021

JUNTA DE GOBIERNO

Presidente: Excmo. Sr. Dr. D. José Luis de Justo Alpañés (13/02/96)
Vicepresidente: Ilmo. Sr. D. Miguel Ángel de la Rosa Acosta (05/11/15)
Secretario: Ilmo. Sr. Dr. D. Enrique Fernández Cara (25/04/17)
Tesorero: Ilmo. Sr. Dr. D. Alfonso Jiménez Martín (18/03/03)
Bibliotecario: Ilmo. Sr. Dr. D. Javier Fernández Sanz (20/04/17)

ACADÉMICOS DE NÚMERO

Sección de Química

Ilma. Sra. D^a. Rosario Fernández Fernández (28/04/14) - Presidenta sección
Ilmo. Sr. D. Javier Fernández Sanz (20/04/17) - Bibliotecario
Ilmo. Sr. Agustín Rodríguez González-Elipe (13/02/2020)
Ilmo. Sr. D. Francisco Sánchez Burgos (22/10/02)

Sección de Física

Ilmo. Sr. D. José Javier Brey Abalo (16/12/97) - Presidente sección
Ilmo. Sr. D. Alejandro Conde Amiano (15/06/04)
Ilmo. Sr. D. Arturo Domínguez Rodríguez (07/05/07)
Ilmo. Sr. D. José Luis Huertas Díaz (27/11/06)
Excmo. Sr. D. Rafael Márquez Delgado (26/05/86 - Fundador) - Presidente de Honor

Sección de Matemáticas

Ilmo. Sr. D. Juan Arias de Reyna Martínez (01/12/88)
Ilmo. Sr. D. José Luis de Vicente Córdoba (26/05/86) - Fundador
Ilmo. Sr. D. Tomás Domínguez Benavides (27/06/95)
Ilmo. Sr. D. Enrique Fernández Cara (25/04/17) - Secretario
Excmo. Sr. D. Rafael Infante Macías (26/05/86) - Fundador

Ilmo. Sr. D. Luis Narváez Macarro (01/02/00) - Presidente de sección
Excmo. Sr. D. Antonio Pascual Acosta (11/12/03)

Sección de Biología

Ilmo. Sr. D. Andrés Aguilera López (14/12/2017)
Ilmo. Sr. D. Miguel Ángel de la Rosa Acosta (05/11/15) - Vicepresidente
Ilmo. Sr. D. Miguel García Guerrero (01/04/08)
Excmo. Sr. D. Francisco García Novo (16/10/89) - Presidente sección
Ilmo. Sr. D. José López Barneo (13/09/2004)
Excmo. Sr. D. Benito Valdés Castrillón (13/11/90) - Presidente Instituto
de Academias de Andalucía

Sección de Ciencias de la Tierra

Ilmo. Sr. Juan Cornejo Suero (26/03/07) - Presidente sección
Ilmo. Sr. D. Diego de la Rosa Acosta (13/05/13)
Ilma. D^a. María del Carmen Hermosín Gaviño (22/11/18)
Ilmo. Sr. D. Joaquín Rodríguez Vidal (25/11/2019)
Ilma. Sra. D^a. Montserrat Vilà Planella (21/04/2022)

Sección de Tecnología

Excmo. Sr. D. Javier Aracil Santonja (21/11/95)
Excmo. Sr. D. José Luis de Justo Alpañés (13/02/96) – Presidente de la Academia
Excmo. Sr. D. Jaime Domínguez Abascal (20/10/14) Presidente de sección
Ilmo. Sr. D. José Domínguez Abascal (09/04/02)
Ilmo. Sr. D. Antonio Gómez Expósito (02/06/2014)
Ilmo. Sr. D. Alfonso Jiménez Martín (18/03/03) – Tesorero
Ilmo. Sr. D. José Luis Manzanares Japón (17/12/96)

ACADÉMICOS ELECTOS

D. Antonio José Durán Guardado
D. Pedro Jordano Barbudo
D^a. Montserrat Vilà Planella

ACADÉMICOS CORRESPONDIENTES

Ilmo. Sr. D. Joan Bertrán i Rusca, Barcelona (04/05/2009)
Excmo. Sr. D. Manuel Catalán Pérez de Urquiola, San Fernando, Cádiz (05/03/1996)

Ilmo. Sr. D. Jacques Castaing, París (15/06/2009)
Ilmo. Sr. D. Nácere Hayek Calil, Santa Cruz de Tenerife (16/05/1991)
Ilmo. Sr. D. Manuel Martín Lomas, San Sebastián (16/04/2007)
Ilmo. Sr. D. Manuel Pastor Pérez, Madrid (11/03/2010)
Ilmo. Sr. D. Rafael Pérez Álvarez-Osorio, Madrid (19/11/1991*)
Ilmo. Sr. D. Vicente Rives Arnau, Salamanca (28/06/210)
Excmo. Sr. D. Juan Manuel Rojo Alaminos, Madrid (17/12/2008* - 05/06/2012)
Ilmo. Sr. D. Sebastián Vieira Díaz, Madrid (25/05/2009)

ACADÉMICOS DE HONOR

Excmo. Sr. D. Avelino Corma Canos (18/05/2005)
Ilmo. Sr. D. Federico García Moliner (06/11/2006)
Excmo. Sr. D. Robert Huber (19/05/2016)
Ilmo. Sr. D. Jean-Marie Lehn (29/05/2007)

ACADÉMICOS SUPERNUMERARIOS

Excmo. Sr. D. Ernesto Carmona Guzmán (18/05/06)
Excmo. Sr. D. Enrique Cerdá Olmedo (26/05/86 – Fundador)
Ilmo. Sr. D. Carlos M. Herrera Maliani (23/10/06)
Excmo. Sr. D. Manuel Losada Villasante (26/05/86 – Fundador)
Ilmo. Sr. D. Guillermo Munuera Contreras (02/02/05)
Excmo. Sr. D. José María Trillo de Leyva (25/01/94)
Ilmo. Sr. D. Manuel Zamora Carranza (22/05/91)

Las fechas entre paréntesis corresponden al día de toma de posesión, a excepción de aquellas marcadas con asterisco que se corresponden con la fecha de ingreso en las distintas categorías de académicos.

MEMORIA DE LA REAL ACADEMIA SEVILLANA DE CIENCIAS DEL AÑO 2021

1. JUNTAS GENERALES

Se celebró sesión ordinaria de la Junta General el día 15 de febrero, y sesiones extraordinarias, los días 9 de marzo, 11 de mayo y 27 de septiembre. En todos los casos, debido a las restricciones sanitarias, con carácter semi-presencial.

2. NUEVOS ACADÉMICOS

El 9 de marzo, fue elegida nueva Académica D^a. Montserrat Vilà Planella, profesora del departamento de Biología Vegetal y Ecología de la Universidad de Sevilla.

El 11 de mayo, fue elegido nuevo Académico D. Antonio J. Durán Guardado, catedrático de Análisis Matemático de la Universidad de Sevilla.

3. ACTOS SOLEMNES

Acto de apertura del curso 2021-2022

Tuvo lugar el 4 de octubre de 2021 en el salón de actos de la Facultad de Física, retransmitido por el Servicio de Medios Audiovisuales de la Universidad de Sevilla. Pronunció una conferencia el Excmo. Sr. D. Benito Valdés Castrillón, con el título: *Los colores de las plantas*.

4. CURSOS, SIMPOSIOS Y SESIONES CIENTÍFICAS

Curso de Historia y Filosofía de la Ciencia y de la Técnica, en memoria del Prof. D. Ramón Queraltó Moreno

En este ciclo, que se celebra anualmente en colaboración con la Facultad de Química de la Universidad de Sevilla, se impartieron las siguientes conferencias durante 2021:

- 26 de abril: “La evolución del Covid-19 en España, Andalucía y Sevilla”: Profesor D. José Luis de Justo Alpañés.

- 3 de mayo: “Algunas consideraciones históricas sobre las Nanociencias, las Nanotecnologías y la Nanoanalítica (Nanoanalytics)”: Prof. D. Agustín García Asuero.
- 10 de mayo: “Pierre Duhem, científico y filósofo a caballo entre los siglos XIX y XX”: Prof. D. Juan Arana Cañedo-Argüelles.
- 17 de mayo: “Negaciones de los químicos”: Prof. D. Antonio Roselló Segado.
- 24 de mayo: “Vuelta al mundo y resultados científicos de la expedición de Magallanes”: Prof. D. Javier Almarza Madrera.
- 31 de mayo: “Las reflexiones de Hermann von Helmholtz sobre las condiciones filosóficas y académicas de la investigación científica”: Prof. D. Francisco Soler Gil.
- 7 de junio: “Introducción de la ciencia en la Nueva España. Colaboración con la independencia de México, 1821”: Prof. D. Manuel Castillo Martos.
- 14 de junio: “La mentalidad científica y el espíritu académico”: Prof. D. Ismael Yebra Sotillo.
- 13 de diciembre: “Alfonso X y la Marina de Castilla”: Prof. D. José Luis de Justo Alpañés.
- 20 de diciembre: “Astronomía: la apuesta de Alfonso X por la inmortalidad”: Prof. D. Antonio J. Durán Guardado.

Ciclo de conferencias científicas correspondientes al convenio entre la Fundación Cajal y la Real Academia Sevillana de Ciencias

Ciclo celebrado en la sala Antonio Machado de la Fundación Cajal, Plaza de San Francisco, 1:

- 4 de noviembre: “El mosquito del Nilo”. Conferenciante: Prof. D. Jordi Figuerola Borràs, investigador del CSIC, ex-Vicedirector de la Estación Biológica de Doñana.
- 9 de noviembre: “Cambio climático y energías renovables”. Moderador: José Luis de Justo Alpañés. Ponentes: Prof. D. José Domínguez Abascal y Prof. D. Antonio Gómez Expósito.
- 23 de noviembre: “Las vacunas COVID”. Conferenciante: Excmo. Sr. D. Mariano Esteban Rodríguez, jefe del Grupo Poxvirus y Vacunas del Centro Nacional de Biotecnología del CSIC.

Acto conmemorativo del octavo centenario del nacimiento de Alfonso X

Celebrado en el salón de actos de la Facultad de Matemáticas el 17 de noviembre. Conferencias:

-
- “Alfonso X, el rey de Castilla y el hombre de su tiempo”: Prof. D. Manuel García Fernández, catedrático de Historia Medieval de la Universidad de Sevilla.
 - “Las Ciencias de la Salud en tiempos del Rey Sabio”: Prof. D. Esteban Moreno Toral, profesor titular de Farmacia y Tecnología Farmacéutica de la Universidad de Sevilla.
 - “Los desvelos astronómicos y astrológicos de Alfonso X”: Prof. D. Antonio J. Durán Guardado, catedrático de Análisis Matemático de la Universidad de Sevilla.

5. OTRAS ACTIVIDADES

Conferencias del ciclo “Los Martes de la Academia”

Las conferencias proyectadas fueron suspendidas, por acuerdo del Vicesecretario del Ateneo, D. Manuel Ríos Pérez, y el Presidente de la Academia, hasta nuevo aviso.

Premios a Investigadores Jóvenes 2020

Respecto a los Premios a Investigadores Jóvenes, se ha comunicado a la Academia, por parte de la Real Maestranza de Caballería de Sevilla, la suspensión de todo tipo de actos públicos hasta nuevo aviso.

6. PREMIOS Y HONORES

Con fecha 10 de mayo, se celebró un acto en homenaje al Académico Prof. D. José Luis Manzanares Japón, por su larga y extraordinaria trayectoria.

El 2 de diciembre tuvo lugar el acto de rotulación de la “Glorieta José Luis Manzanares Japón”, situada en la confluencia de las avdas. Américo Vespucio y Camino de los Descubrimientos, con presencia del alcalde de Sevilla.

El 20 de septiembre tuvo lugar una mesa redonda en torno al libro “¿Qué somos?”, del cual el Sr. Manzanares Japón es autor. Intervinieron, entre otros, los Académicos: Prof. D. Javier Fernández Sanz y Prof. D. José López Barneo.

7. OTROS ASUNTOS

El 13 de enero el Presidente participó en una mesa redonda sobre el coronavirus, celebrada en la Universidad Pablo de Olavide.

El día 11 de febrero el Presidente pronunció una conferencia sobre el metro de Sevilla, a través de la plataforma Blackboard/Collaborate, dirigida a los alumnos de primer curso del máster de Ingeniería de Caminos.

La Academia ha acordado formular una propuesta a favor de D. Carlos Herrera Maliani para optar al Premio Margalef.

La Academia ha apoyado la propuesta de denominación “Museo de Geología Emilio Galán”, al museo de Geología de la Universidad de Sevilla. Se está gestionando, además, la selección de un mineral que llevará su nombre.

Se sigue haciendo gestiones para que la Academia pueda acogerse a la Ley de Mecenazgo de la Comunidad Andaluza.

El Presidente de la Academia, en su calidad de tal, ha escrito varios artículos publicados en Diario de Sevilla en 2021, en las siguientes fechas y con los siguientes títulos:

- 21 de enero: “El número real de contagiados en España, Andalucía y Sevilla”.
- 6 de marzo: “Los contagios reales en las tres olas de la pandemia”.
- 15 de abril: “¿Cuarta ola o pandemia residual?”.
- 13 de octubre: “La efeméride del Descubrimiento de América”.
- 5 de noviembre: “Alfonso X y la Marina de Castilla”.
- Asimismo, ha publicado el artículo “La ciencia ante los grandes retos de la humanidad” en el Anuario Joly Andalucía (año 2021, pp. 215-216).

El Secretario,
Enrique Fernández Cava

DISCURSOS

LOS COLORES DE LAS PLANTAS

*Discurso pronunciado por el
Excmo. Sr. D. Benito Valdés Castrillón,
en el solemne acto de apertura del curso 2021-2022
el día 4 de octubre de 2021.*

INTRODUCCIÓN

Hace unos 4.500 millones de años, la explosión de una estrella precursora del sistema solar dio origen al Sol y a todos los planetas, satélites, cometas y asteroides que giran a su alrededor. Probablemente la Tierra, tercer satélite de nuestro sistema solar, fue al principio un planeta sin suelo, con una enorme actividad volcánica. Se estima que la corteza terrestre comenzó a formarse hace unos 4.200 millones de años y que los océanos se formaron hace entre 4.200 y 3.900 millones de años, por acumulación de las lluvias torrenciales que seguían a la condensación de vapor de agua en la atmósfera. Hace aproximadamente 1.900 millones de años se había formado una masa continental única, el continente de Pangea, que se encontraba en posición ecuatorial (Goodwin, 1991), que se fragmentaría con posterioridad, dando origen al desplazarse las placas resultantes a los continentes actuales.

La atmósfera primitiva de nuestro planeta era reductora. Estaba formada fundamentalmente por dióxido de carbono, metano, hidrógeno, agua y amoníaco. Se ha supuesto que en esa atmósfera, sometida al calor y a la energía emitida por las radiación solar y por las rocas radiactivas de la corteza terrestre, y a violentas tormentas de la turbulencia atmosférica acompañada de abundantes rayos, los elementos constituyentes de la atmósfera primitiva pudieron combinarse para formar los primeros compuestos orgánicos, que formados en la atmósfera serían arrastrados por las lluvias y se irían acumulando en los océanos primitivos. Así parecen demostrarlo los experimentos llevados a cabo el siglo pasado por el bioquímico ruso Alexander I. Oparin (Oparin, 1924) y por los profesores de la Universidad de Chicago Standley Miller y Harold Urey. Estos últimos consiguieron obtener por síntesis casual, no dirigida, glicina y otros aminoácidos, azúcares, lípidos, purina y pirimidina, bases estas últimas de los ácidos nucleicos (Miller & Urey, 1959). Cuando añadían fosfatos a su medio experimental, se formaba espontáneamente ATP (adenosín trifosfato).

Sindley Fox, en la década de los 80 del pasado siglo, sintetizó abióticamente polipéptidos calentando mezclas de aminoácidos sobre arenas y arcillas sumergidas en agua caliente (Fox, 1988), y Cairns-Smith y sus colaboradores demostraron que el ARN (áci-

do ribonucleico) puede sintetizarse abióticamente (Cairns-Smith, 1982; Cairns-Smith & al., 1992).

De manera que, en las condiciones de aquella atmósfera y aquellos mares primitivos de nuestro planeta, pudieron formarse los primeros compuestos orgánicos de una manera casual y abiótica. Cuándo y cómo es difícil, si no imposible, de precisar.

Pero la formación de células vivas organizadas, con capacidad de nutrirse y auto-reproducirse, a partir de los compuestos orgánicos que se iban formando, no es tan fácil de imaginar, aunque parece indudable que tuvo lugar una asociación de moléculas para formarse los primeros organismos, aún de organización muy primitiva. Los restos fósiles más antiguos atribuidos a organismos vivos, concretamente a Cianobacterias, o más bien los resultados de su actividad, los estromatolitos, se remontan a hace 3.400-3.500 millones de años (Walter & al., 1980), lo que permite pensar que la vida surgió en la Tierra al menos hace 3.500 millones de años (Schopf, 2006).

Probablemente no fueran las Cianobacterias, autótrofas y fotosintéticas, los primeros organismos vivos, sino organismos heterótrofos utilizadores de las moléculas orgánicas que se iban formando, o quimiótrofos, que como las sulfobacterias, ferrobacterias y cianobacterias quimiótrofas actuales, utilizarían para sintetizar los compuestos orgánicos de que estaban formados, la energía producida por los procesos de oxidación de compuestos inorgánicos reducidos como sales ferrosas, sulfuro de azufre, nitritos, etc., aunque el que las actuales posean cadenas respiratorias bien desarrolladas parece indicar que pudieran ser de aparición posterior a la de los organismos fotosintéticos. Es posible que, en un escenario de altísima competencia, dado que la materia orgánica que tardó varios millones de años en acumularse debería ser cada vez más escasa, tuvieran ventaja para sobrevivir los organismos que pudieran desarrollar un sistema para hacer uso directo de la energía solar. La captación y utilización de la energía solar requería el desarrollo de una nueva estrategia: la formación de una serie de pigmentos capaces de capturar la energía lumínica y transformarla en energía acumulable como moléculas orgánicas (Valdés, 2008: 60-61).

Pero los procariotas dieron origen a los eucariotas, que presentan una notable mejora biológica, ya que sus células tienen un núcleo en el que el material genético está aislado del resto del citoplasma mediante una doble membrana lipoproteica. Es difícil precisar cuándo se produjo esta mejora, pero debió ser a finales del Precámbrico, hace unos 2.100-1.900 millones de años, si los fósiles asignados al género *Grypania* encontrados en Michigan son ya organismos eucariotas (Han & Runnegar, 1992). Lo que está claro es que este proceso debió suceder varias veces a lo largo de la evolución de los procariotas, que aprovecharían cuantas veces se presentara la oportunidad. Así lo demuestra la diversidad de organismos eucariotas que, al menos en el caso de las plantas, constituyen tres líneas evolutivas independientes que tienen sus orígenes en los procariotas, como se indicará más adelante.

CONSIDERACIONES SOBRE LOS REINOS

Desde la más remota antigüedad, los seres vivos fueron separados en animales y plantas, separación que fue reafirmada en la Grecia clásica por Aristóteles y Teofrasto, autor el primero de una Historia de los Animales y otros escritos zoológicos, y de una Historia de las Plantas y otros escritos botánicos el segundo (Truet & al., 1977; Teofrasto, 1988).

De manera que cuando en el siglo XVIII el gran naturalista sueco Carlos Linneo se propuso clasificar todos los elementos que componen la Naturaleza, separó tres reinos: *Lapides*, en el que incluyó los seres inanimados (minerales y rocas), *Vegetabilia*, en el que incluyó las plantas, y *Animalia*, formado por los animales (Linneo, 1766). Los seres animados quedaban así separados en dos grandes grupos o Reinos. Los vegetales son seres estáticos, capaces de sintetizar los componentes nutritivos que necesitan (son organismos autótrofos), mientras que los animales, dotados de movimiento, necesitan ingerir otros seres vivos, sean plantas o animales, para poder desarrollarse (son organismos heterótrofos).

Esta división simplista de los seres vivos se siguió manteniendo hasta finales del siglo XIX, quizás por la gran influencia que tuvo la obra de Linneo sobre los naturalistas de los siglos XVIII y XIX.

Pero a finales del siglo XIX, Erns Haeckel (1894) reconoció un nuevo reino: Protista, para incluir a todos los organismos microscópicos, y a lo largo del siglo XX se ha propuesto la división de los seres vivos en cinco (Whittaker & Margulis, 1978; Margulis & Swartz, 1985), seis (Cavallier-Smith, 1998) o nueve (Cavallier-Smith, 1981) reinos, de los que uno corresponde a los organismos procariotas, con sus células desprovistas de núcleo.

Si se atiende al tipo de nutrición, que quizás sea lo que más claramente puede separar a plantas, hongos y animales, se puede afirmar que aparte del reino Monera de Margulis (*Bacteria de Cavallier-Smith*), todos los organismos vivos pertenecen a tres líneas tróficas bien definidas. Una está formada por los organismos de nutrición autótrofa. Incluye a las plantas y a todos los procariotas que como ellas presentan pigmentos fotosintéticos. Otra está formada por los organismos heterótrofos que se nutren por absorción. La integran los hongos y procariotas que como ellos producen enzimas digestivos que son segregados al exterior del organismo, para absorber después el resultado de esa digestión externa a través de las paredes y membranas celulares. La tercera línea está constituida por organismos heterótrofos que se nutren por ingestión. Coinciden en cierto modo con la propuesta de Leedale (1974) de separar a los procariotas como reino *Monera* y a los eucariotas como reinos *Plantas*, *Hongos* y *Animales*, de los que *Plantas* y *Hongos*, en su conjunto, son los Vegetales en sentido lineano.

EVOLUCIÓN DE LAS PLANTAS

No hay acuerdo unánime sobre los grupos taxonómicos en que ha de dividirse el reino *Plantas*, pero lo que es evidente es que a lo largo de su evolución, desde que surgieron los primeros organismos fotosintéticos, hace unos 3.500 millones de años, se han ido formando y diferenciando al menos tres líneas filogenéticas independientes. Las tres se originaron a partir de organismos procariotas. Han evolucionado para diferenciar estructuras citológicas y morfológicas muy diversas y han tenido mayor o menor éxito evolutivo.

Una línea filogenética está formada por las algas rojas, que tienen su origen en las *Cianofitas*, esto es, las cianobacterias carentes de clorofila b. Se diferencian de las demás plantas en que acumulan como pigmentos fotosintéticos auxiliares clorofila d y dos ficobilinas: ficocianina, azul, y ficoeritrina, roja. Como resultado de la fotosíntesis acumulan como producto de reserva el llamado almidón de las florideas, un polímero de la glucosa de características intermedias entre el almidón de las plantas verdes y el glucógeno o almidón animal. Además, carecen de cualquier tipo de célula móvil y tienen ciclos biológicos trifásicos (Valdés, 1980: 114). Se reconocen en la mayoría de los sistemas de clasificación vegetal como constituyentes de una sola división: las *Rodofitas*.

Otra línea filogenética está formada por las plantas pardas y doradas. Químicamente se caracterizan por presentar como pigmentos fotosintéticos auxiliares clorofila c y carotenoides pardos, como la fucoxantina, o dorados, como la vauquerioxantina, que enmascaran a los demás pigmentos. Acumulan como producto de reserva laminarina, que es un polímero de la manosa. Sus células móviles, sean esporas o gametos, se mueven por actividad de dos flagelos laterales, uno simple y otro provisto de prolongaciones laterales o mastigonemas (Valdés, 1980: 118-119). Su diversidad estructural y morfológica hace que se reconozcan como integrantes de esta línea filogenética a varias divisiones de algas, de las que son particularmente abundantes las Crisofitas, a las que pertenecen varios miles de diatomeas microscópicas, y las Feofitas, macroscópicas, alguna de cuyas especies llegan a medir hasta 60 metros. No hay en la actualidad ningún grupo de procariotas que pueda postularse como origen de esta línea filogenética.

La tercera línea, que ha alcanzado, con diferencia, una mayor diversidad morfológica y estructural, y ha tenido mayor éxito evolutivo, está formada por varias divisiones de algas marinas o de agua dulce y tres divisiones de plantas terrestres. Comparten como característica principal presentar clorofila b como pigmento fotosintético auxiliar. Acumulan normalmente almidón como producto de reserva, que es un polímero de la glucosa, y en uno de sus grupos más evolucionados (la familia Compuestas), inulina, que es un polímero de la fructosa. Cuando presentan formas móviles, se mueven por actividad de dos flagelos simples, o por una corona de cilios. (Valdés 1980: 122-123). Tienen su origen en un grupo de procariotas con clorofila b, las *Prochlorofitas*, y en su evolución se han adaptado a la vida fuera del agua, dominando en la actualidad todos los ecosistemas terrestres.

Al diferenciarse básicamente por la coloración que les proporcionan sus pigmentos dominantes, coinciden con los tres reinos de plantas eucariotas reconocidos por Ed-

wards (1976): *Erytrobionta*, integrado por las algas rojas, *Ochrobionta*, formado por todos los grupos de algas pardas y doradas, y *Chlorobionta*, formado por todas las algas verdes y las plantas verdes terrestres.

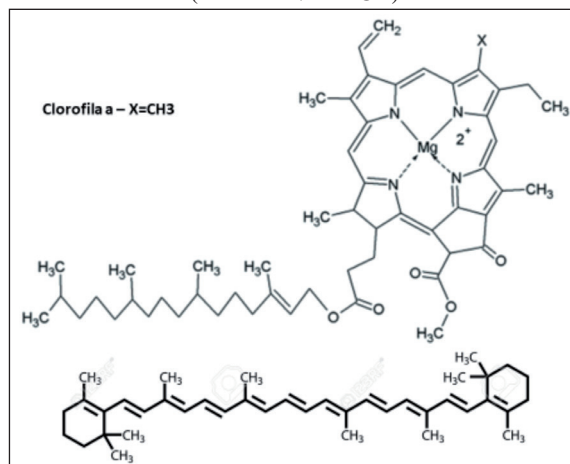
Pero todos los grupos de plantas, incluidas las Cianobacterias, tienen en común dos pigmentos fotosintéticos: el β -caroteno, como pigmento auxiliar universal, y la clorofila a, que es el pigmento que actúa en el centro de reacción de todos los fotosistemas.

LOS PIGMENTOS FOTOSINTÉTICOS

Todos los pigmentos fotosintéticos, esto es, las clorofilas, ficobilinas y carotenoides, tienen en común el presentar una estructura molecular en la que se produce el fenómeno de la resonancia, esto es, en la que los átomos de carbono de sus moléculas están unidos por enlaces simple y dobles alternantes (fig. 1), lo que les permite la absorción de energía lumínica y el libre flujo de electrones, que en los complejos fotosintéticos van dirigidos a excitar un pigmento diana, que es la clorofila a, que es el centro de reacción de los fotosistemas I y II.

Las clorofilas son cromóforos formados por un núcleo tetrapirrólico en cuyo centro un átomo de magnesio está unido a dos de los nitrógenos del núcleo tetrapirrólico mediante enlaces covalentes y a los otros dos mediante enlaces iónicos. Una cadena hidrocarbonada alcohólica, el fitol, se une a dicho núcleo y completa y estabiliza la molécula. En el proceso de biosíntesis de las clorofilas, la primera en formarse es la clorofila a, lo que permite considerarla como la más primitiva. Se originó en las primeras procariontas fotosintéticas, se ha conservado en todos los grupos de plantas, y de ella derivan las demás.

FIGURA 1
ESTRUCTURA DE LAS CLOROFILAS (PARTE SUPERIOR) Y DEL B-CAROTENO
(PARTE INFERIOR)



Las ficobilinas están relacionadas con las clorofilas, pudiéndose considerar que, en cierto modo, representan un núcleo tetrapirrólico abierto de una clorofila. Son fundamentalmente dos: la ficoeritrina, que absorbe las radiaciones de la banda luminosa correspondientes al violeta y al azul, y la ficocianina, que lo hace en la radiación del rojo y del anaranjado. Sólo se presentan en las procariotas y en el amplio grupo de las algas rojas.

Los carotenoides son cadenas de hidrocarburos insaturados que químicamente pueden considerarse como tetraterpenos, al estar formado el licopeno, del que derivan todos los demás, por ocho moléculas de isopreno (Delgado-Vargas & al., 2000: 197). De ellos el b-caroteno es un pigmento universal en plantas. Se conocen más de 600 carotenoides (Grotewold, 2006: 766), que a efectos prácticos se dividen en dos grupos: los carotenos, de colores anaranjados o rojizos, que están compuestos sólo por carbono e hidrógeno, y las xantofilas, de colores amarillentos, que contienen además oxígeno, al presentar en su molécula al menos dos grupos hidroxilo.

APROVECHAMIENTO DE LA ENERGÍA LUMÍNICA

Los pigmentos fotosintéticos son capaces de absorber una parte de la energía radiante que llega del sol y transformarla en energía química de enlace fosfato, en el complejo proceso de la fotosíntesis, que hace que las plantas sean autótrofas, esto es, autónomas en cuanto a la producción de su propia materia orgánica. Para ello necesitan una fuente de energía, dióxido de carbono, que toman de la atmósfera o disuelto en el agua, y un donante de electrones, que en el proceso de fotosíntesis oxigénica es el agua, y en la fotosíntesis anoxigénica, propia de los organismos quimiótrofos, hidrógeno, sulfuros de hierro y compuestos orgánicos simples.

El Sol envía a la tierra energía radiante equivalente a 120.000 teravatios (un teravatio es la potencia equivalente a un billón de vatios), mil veces superior al consumo energético de toda la humanidad (de la Rosa & al., 2020: 49). La radiación luminosa se transmite de una manera ondulatoria, desplazándose cada fotón o cuanto de luz con una determinada longitud de onda, que es la distancia entre dos crestas o dos valles sucesivos de las ondas con que se desplaza, longitud que se mide en nanómetros (un nanómetro, nm, es una millonésima parte de un milímetro).

Sólo una parte de esa energía radiante constituye el espectro visible, o luz visible, para el ojo humano. Corresponde a la luz blanca, que abarca, aproximadamente, desde los 380 hasta los 760 nm (Hita, 2020: 134). Cuando la luz blanca se hace pasar por un prisma de cristal, se descompone en sus colores fundamentales, que de mayor a menor longitud de onda son: rojo, anaranjado, amarillo, verde, azul, añil y violeta. Son los colores del arcoíris. Pero la coloración se extiende gradualmente de una manera continua desde los 380 hasta los 760 nm, dando una numerosísima serie de colores. Por debajo de la luz visible, con menor longitud de onda, se encuentra la radiación ultravioleta, que el ojo humano es incapaz de percibir. Por debajo de ella, la radiación X, y por debajo de ésta, la radiación gamma. Por encima del espectro visible, esto es, con mayor longitud

de onda, se encuentra la radiación infrarroja, que el ojo humano tampoco puede percibir, seguida de las microondas y de las ondas de radio, cuya longitud se mide ya en metros.

La energía de cada fotón o cuanto de luz es función de la frecuencia de vibración, que a su vez se mide como el cociente de la velocidad de la luz por la longitud de onda, mediante la fórmula

$$E = hn = hc/\lambda$$

en la que h es la constante de Planck, n la frecuencia, c la velocidad de la luz y λ la longitud de onda. De manera que la energía de los fotones de luz es inversamente proporcional a su longitud de onda. La luz infrarroja es por tanto menos energética que la roja, la ultravioleta más energética que la violeta, la radiación X mucho más energética que la ultravioleta, y la radiación gamma mucho más que la X, hasta el punto de que la intensidad de su energía las hace sumamente mutagénicas e incompatibles con la existencia de la vida.

Sólo las plantas son capaces de captar y acumular la energía lumínica en forma de energía química, en el proceso conocido como fotosíntesis, que en la mayoría de las plantas tiene lugar en dos fases. La primera es la fase lumínica, que, salvo en algunos organismos procariotas, requiere la secuencia de dos sistemas fotoexcitables conocidos como Fotosistema I y Fotosistema II. La absorción de un fotón de luz por el Fotosistema I promueve la subida de un electrón de un orbital más próximo al núcleo de un átomo a un orbital superior. Estos electrones son transferidos a la ferredoxina y al NADP (nocotinamida-adenín dinucleótido fosfato). Además, se sintetiza ATP. El déficit electrónico del Fotosistema I es equilibrado por el aporte de electrones del Fotosistema II a través de una cadena de citocromos. La tensión producida por el paso de un electrón a un orbital superior en el Fotosistema II provoca la lisis del agua, de la que cada molécula libera dos electrones, que van a cubrir el déficit electrónico del Fotosistema II, dos protones y media molécula de oxígeno que pasa al medio como producto de desecho. En la llamada fase oscura, en la que no es necesaria la presencia de la luz, las plantas capturan CO_2 disuelto en el agua o de la atmósfera, para unirlo al H que procedente del agua se ha acumulado en forma de NADPH, produciéndose materia orgánica. Es una operación que necesita energía, que suministra el ATP formado en la fase lumínica de la fotosíntesis (Levine, 1971; de la Rosa, 2005: 39-52; de la Rosa & al, 2020: 25-32).

El proceso de la fotosíntesis consiste por tanto en la producción de materia orgánica mediante la captura de CO_2 aprovechando la energía lumínica y el hidrógeno producido en la lisis del agua, liberándose oxígeno como producto de desecho.

COLONIZACIÓN DEL MEDIO TERRESTRE. ORIGEN DE LAS ANGIOSPERMAS

Como resultado de la actividad fotosintética oxigénica desarrollada por las plantas marinas durante millones de años, el oxígeno se fue acumulando primero en el medio

acuático y después en la atmósfera, que fue cambiando gradualmente desde una atmósfera primitiva reductora en la que el dióxido de carbono era el gas dominante, a una atmósfera oxidante constituida en la actualidad por un 78% de nitrógeno y un 20·9% de oxígeno.

Una de las consecuencias de la acumulación de oxígeno (O₂) en la atmósfera, fue la producción de ozono (O₃), por la acción de los rayos solares sobre el oxígeno (de la Rosa & al., 2020: 33). El ozono, más ligero, se ha ido acumulando en la parte superior de la atmósfera, para formar por encima de unos 10 km de altura una capa rica en este gas: la ozonósfera.

Sólo fue posible la vida sobre la Tierra cuando la ozonósfera fue lo suficientemente gruesa como para impedir que las radiaciones solares de onda corta llegasen a la superficie de nuestro planeta. Son las radiaciones ultravioletas de onda corta, los rayos X y los rayos gamma.

Así que hace unos 500 millones de años, en el Precámbrico, con una concentración de oxígeno en la atmósfera de aproximadamente un 10% de la actual, fue posible que se establecieran fuera del agua algas de varios grupos, representados en la actualidad por varios cientos de especies de algas terrestres. Son algas verdes, verde-azuladas, doradas, pardas y rojas (Hoffmann, 1989; Rindi, 2011), que intentaron la colonización del medio terrestre. Pero sólo tuvieron éxito las algas verdes, gracias a la adquisición de diversas mejoras biológicas que les capacitaron para independizarse cada vez más del agua y les permitieron evolucionar hasta originar los grupos de plantas que pueblan en la actualidad todas las áreas terrestres, incluidas las más inhóspitas, como los desiertos.

De manera que las plantas terrestres actuales se originaron hace unos 500 millones de años, en el periodo Cámbrico, a partir de un grupo de algas verdes con división celular con formación de un fragmoplasto y ciclos biológicos diplohaplontes, en los que alterna una fase diploide formadora de esporas (esporofito), con una fase haploide formadora de gametos (gametofito), esto es, una fase asexual con otra sexual. Son caracteres que presentan todas las plantas verdes terrestres: *Briofitas* (musgos, hepáticas y antocerotas), *Pteridofitas* (helechos y grupos relacionados) y *Antofitas* (*Gimnospermas* y *Angiospermas*).

La primera mejora necesaria para el éxito en la colonización del medio terrestre fue la formación de un arqueogonio como órgano reproductor femenino. Hasta entonces, los gametangios femeninos (oogonios), unicelulares y desnudos, no necesitaban de una protección especial, pues se la proporcionaba el medio acuático en que vivían las algas. En el arqueogonio, un único gameto femenino, la oosfera, está rodeado por una capa de células protectoras.

Las plantas arquegoniadas evolucionaron para formar dos grupos bien definidos de acuerdo con el tipo de ciclo biológico. Uno corresponde a las *Briofitas*, en cuyo ciclo biológico el gametofito, haploide, está más desarrollado que es el esporofito diploide, y para su reproducción sexual dependen del agua, en cuyo medio los gametos masculinos (anterozoides), móviles por medio de dos flagelos, pueden fecundar al gameto femenino (oosfera) que se encuentra dentro del arqueogonio. Su dependencia del agua y el predominio de la fase haploide, más expuesta a cualquier tipo de mutación, hicieron que no alcanzaran mayor éxito evolutivo.

Pero hace unos 420 millones de años, en el periodo Silúrico, un determinado grupo de *Briofitas* dio origen a las plantas vasculares, en las que la progresiva mejora de un sistema vascular podía llevar a todas las partes de la planta agua y sales minerales del suelo (sabia bruta) o agua con compuestos orgánicos disueltos (sabia elaborada). Además, en sus ciclos biológicos, la fase diploide domina sobre la fase haploide. Todo ello les dio una considerable ventaja sobre las *Briofitas*, y les permitió su progresiva evolución.

El esporofito de las plantas vasculares típicas se compone de una parte subterránea o raíz y una parte aérea o tallo, generalmente ramificado, en el que se insertan las hojas, en las que se realiza la función fotosintética preferentemente.

En las plantas vasculares más primitivas, las *Pteridofitas* (helechos y grupos relacionados), las plantas dependen altamente del agua, pues, como en las *Briofitas*, los gametos masculinos que producen los gametofitos utilizan el agua para llegar hasta los gametos femeninos, encerrados en los arquegonios.

De los helechos primitivos, que formaron los grandes bosques tropicales húmedos de los periodos Devónico, Carbonífero y Pérmico, surgieron en el Devónico, hace unos 380 millones de años, las *Espermatofitas* o plantas con semillas. En ellas, la independencia del medio acuático es muy pronunciada, al producir notables mejoras biológicas en su sistema vascular y en sus ciclos biológicos, en los que su reproducción sexual es totalmente independiente del agua. Sus esporofitos diploides diferencian unas hojas reproductoras femeninas (macrosporofilos) en las que en el interior de un órgano de nueva formación, el primordio o rudimento seminal, tiene lugar la formación de esporas (macrosporas), que germinan dentro del primordio seminal para originar un gametofito femenino provisto de uno o más gametos. Los esporofitos producen además unas hojas reproductoras masculinas (microsporofilos o estambres), que pueden encontrarse en la misma planta que las femeninas (monoecia) o en plantas diferentes (dioecia), que presentan esporangios o sacos polínicos productores de microsporas o granos de polen. A diferencia de las esporas femeninas, que no se liberan, estas esporas masculinas o granos de polen quedan en libertad al abrirse los esporangios y son llevadas por agentes abióticos (normalmente el viento, a veces el agua) o bióticos (invertebrados o vertebrados), hasta los primordios seminales de las hojas femeninas. Es el proceso denominado polinización. Una vez en el primordio seminal, o en una parte elaborada del macrosporofilo, la microspora o grano de polen germina y da lugar a un gametofito masculino sumamente reducido, uno de cuyos dos gametos, generalmente inmóviles, fecundará a la oosfera o gameto femenino. El cigoto así formado, dará origen a un embrión, que queda encerrado durante un tiempo más o menos largo en el primordio seminal, que como resultado de la fecundación se desarrolla para dar origen a una semilla.

Las *Espermatofitas* o plantas con semillas, corresponden a dos grupos bien diferenciados: *Gimnospermas*, o espermatofitas con primordios seminales desnudos, y *Angiospermas*, o espermatofitas con primordios seminales encerrados en un ovario, que protege a los primordios seminales de la depredación y que es el resultado del plegamiento y generalmente fusión de los macrosporofilos.

Las *Gimnospermas* se originaron en el periodo Devónico y tuvieron su máximo desarrollo en la era secundaria o Mesozoico, particularmente en el periodo Jurásico, en el que dominaron formando grandes bosques en los que fueron desplazando a los helechos. Pero a finales del Jurásico, o en el periodo Cretácico, hace unos 150 millones de años, un grupo de Gimnospermas con estructuras reproductora mixtas, provistas de hojas femeninas productoras de primordios seminales y de hojas masculinas productoras de sacos polínicos, dio origen a las Angiospermas, en las que la protección de los primordios seminales al plegarse los macrosporifilos para formar carpelos, proporcionó una notable ventaja sobre las demás plantas, desplazando tanto a las Pteridofitas como a las Gimnospermas.

En la actualidad, salvo por los bosques de coníferas, que cubren extensas áreas en los países templados y fríos, las formaciones vegetales terrestres están dominadas por las Angiospermas. Son las plantas con flores, las cuales están formadas en la mayoría de los casos por cuatro tipos de piezas florales: los sépalos, protectores y generalmente verdes, los pétalos, vistosamente coloreados, los estambres u hojas masculinas, formadoras de polen, y los carpelos u hojas femeninas, en cuyo interior se encuentran los primordios seminales. Son las flores hermafroditas, de las que derivan las unisexuales, variadamente dispuestas en la misma planta o en plantas diferentes.

POLINIZACIÓN DE LAS FLORES, FECUNDACIÓN Y DISPERSIÓN DE LAS SEMILLAS

Para el transporte del polen hasta las estructuras reproductoras femeninas, las *Gimnospermas* utilizan principalmente el aire. Son anemógamas. Pero las *Angiospermas*, aunque presentan muchos grupos anemógamos, como las Gramíneas, Ciperáceas, Juncáceas, Betuláceas, Fagáceas, etc., y algunos hidrógamos, al utilizar el agua para dicho transporte, se han especializado en la utilización de un nuevo tipo de agentes polinizadores: los animales, de los que dependen para su reproducción casi el 90% de las Angiospermas.

En nuestra Región Mediterránea y en las regiones templadas, los responsables de la polinización son principalmente los insectos (entomogamia). Pero en otras regiones, particularmente en las tropicales, intervienen también las aves (ornitogamia) o los mamíferos, particularmente los murciélagos (quiropterogamia), y, sobre todo en islas oceánicas, los reptiles (saurogamia).

Para facilitar la polinización, las flores atraen a los posibles visitantes transportadores de polen por medio de tres mecanismos: olor, forma y color, y ofrecen como recompensa, para asegurarse la repetición de las visitas, principalmente néctar y polen.

El olor, debido a la emisión de compuestos volátiles, atrae a los polinizadores a distancia. Así atraídos, reconocen la morfología de la flor productora, así como su color, que es sumamente variado, ya que tiene una base molecular muy diversa, pues hay varios grupos de compuestos que se acumulan en la flor, normalmente en los pétalos, sea asociados a las membranas lipoproteicas de cromóforos celulares, como es el caso de

las clorofilas y de los carotenoides, sea disueltos en las vacuolas de las células, cuando son hidrosolubles, como es el caso de los pigmentos quinónicos, las betalainas y los flavonoides. Una vez en contacto con la flor, el agente polinizador es dirigido hacia la fuente de néctar o polen, o ambos, esto es, hacia el centro de la flor donde se encuentran los órganos reproductores, mediante señales o guías nectaríferas. Son líneas o bandas de pigmentación diferente a la del resto de la flor. Es frecuente, por ejemplo, que en flores amarillas cuya coloración se deba a la presencia de xantofilas, que absorben en el espectro visible, las guías nectaríferas se deban a flavonas o flavonoles, que absorben en el ultravioleta, marcando líneas hacia el centro de la flor, o creando un área en su centro, que el ojo humano no visualiza, pero sí los insectos (Thompson & al., 1972; Dement & Raven, 1974; Harborne & Smith, 1978; Sasari & Takahashi, 2002). El papel de las guías nectaríferas en la eficacia de la polinización y producción de semillas quedó plenamente demostrado por los experimentos realizados por Hansen y colaboradores (Hansen & al., 2011) con la iridácea sudafricana *Lapeirousia oreogena* y su polinizador.

Los olores, producidos por osmóforos generalmente localizados en el centro de la flor, suele atraer a agentes de polinización específicos, que identifican el olor como atrayente, aunque a veces puedan resultar desagradables para el olfato humano, como es el de la putrescina o cadaverina, resultantes del catabolismo de proteínas, tan atractivos para los dípteros.

Himenópteros (abejas, abejorros, avispas), Coleópteros (escarabajos), Dípteros (particularmente las especies de la familia Sífidos) y Lepidópteros (mariposas), tanto diurnos (Ropalóceros) como nocturnos y vespertinos (Heteróceros), se encuentran entre los agentes polinizadores más eficaces en la Región Mediterránea. Los murciélagos y las aves, pertenecientes estas últimas a 23 familias diferentes, de las que las mejor conocidas son los colibrís o pájaros mosca americanos, y en menor proporción otros pequeños mamíferos y reptiles, son eficaces polinizadores, además de los insectos, en otras regiones del Globo.

Un mecanismo curioso, que merece la pena mencionar, lo constituye el mimetismo floral. Hay muchas especies vegetales, pertenecientes sobre todo a las familias Compuestas y Orquidáceas, cuyas flores simulan la morfología de las hembras de determinados insectos, cuyos machos son atraídos para realizar una pseudocopulación, durante la cual polinizan las flores.

En nuestro ambiente mediterráneo es bien conocido el atractivo sexual que ejercen muchas orquídeas silvestres del género *Ophrys* sobre los machos de determinadas especies de abejas o avispas solitarias. Copian en su labelo, que es una de las tres piezas del verticilo interno de su perianto, la morfología y colorido de la hembra de determinada especie (Adaloro & Sáez, 2005; Serra & al., 2019). Pero no es sólo la morfología de la hembra lo que ha mimetizado la orquídea, pues si nó no se entendería porqué sigue el macho tratando de copular con las falsas hembras. Es que las orquídeas emiten con su aroma las mismas hormonas sexuales que liberan las hembras de los himenópteros que mimetizan (Stökl & al., 2007). La perfección de este tipo de adaptaciones es difícil de explicar sólo en términos de la doctrina evolucionista darwiniana.

Hay que indicar que en Europa continental, al menos 46 especies de paseriformes visitan las flores de unas 66 especies de plantas nativas y otras 29 introducidas (da Silva & al., 2014), pero sólo se ha comprobado la polinización efectiva por aves de tres especies vegetales, las tres presentes en la Península Ibérica: *Anagyris foetida* (Ortega-Olivencia & al., 2005; Valtueña & al., 2010), que es también polinizada por varias aves en Israel (Haran & al., 2018), y *Scrophularia sambucifolia* y *S. grandiflora* (Ortega-Olivencia & al., 2012; Navarro-Pérez & al., 2013).

Sin embargo, no demasiado lejos, en las islas Canarias, al menos cinco especies de aves liban habitualmente néctar y polinizan eficazmente a 11 especies macaronésicas con marcado síndrome floral característico de las flores ornitógamas, de las que hay que destacar los endemismos canarios *Canarina canariensis* (L.) Vatke, *Lavatera phoenicea*, *Echium wildpretii*, *Lotus berthelotii*, *Isoplexis canariensis*, *Scrophularia calliantha* y *Aeonium arboreum* (Valido & al., 2002, 2004; Olesen & Valido, 2004; Ollerton & al., 2009; Ojeda & al., 2012; Ortega-Olivencia & al., 2012; Navarro-Pérez & al., 2013; Arango, 2013). Hay que añadir además que también parecen ser polinizadas por pájaros dos especies endémicas de las islas Madeira: *Isoplexis szeptum* y *Musschia wollastonii* (Olesen & Valido, 2003).

Fuera de la Región Mediterránea, intervienen también como agentes de polinización otros vertebrados, como lemúridos, pequeños roedores y reptiles, de los que sólo se conoce un caso en la Región Mediterránea. Se trata de la lagartija balear (*Podarcis lilfordi*) que contribuye a la polinización de *Euphorbia dendroides*, *Crithmum maritimum* y otras especies (Sáez & Traveset, 1995; Traveset & Sáez, 1997; Pérez-Mellado & Casas, 1997; Salvador, 2015). Y en la Región Macaronésica, el lagarto canario (*Gallotia galloti*) poliniza al menos las flores de *Echium wildpretii* (Valido & al., 2011), *Scrophularia calliantha* (Ortega-Olivencia & al., 2012; Navarro-Pérez & al., l. c.) e *Isoplexis canariensis* (Olesen & Valido, l. c.; Rodríguez-Rodríguez & Valido, 2008; Ollerton & al., l. c.; Rodríguez-Rodríguez & al., 2015)

Tras la polinización, tiene lugar la fecundación, lo que implica que, en el caso de las Angiospermas, el polen, depositado en el estigma o parte receptiva del ovario, emite un tubo polínico que llega hasta el saco embrionario, que es el nombre que recibe en las Angiospermas el gametofito femenino, sumamente reducido, que se encuentra en el interior del primordio seminal. Un gameto masculino, de los dos que se forman en el grano de polen, que funciona así como gametofito masculino, se fusiona con la oosfera, o gameto femenino, formándose como consecuencia un cigoto diploide que por divisiones sucesivas forma un embrión, precursor de una nueva planta. El otro gameto masculino se fusiona con un núcleo diploide del saco embrionario llamado núcleo secundario, dando como resultado un núcleo triploide cuya división dará origen a un tejido de reserva, el endospermo secundario o albumen, que puede ser más o menos abundante o faltar casi por completo. La fecundación pone en funcionamiento una serie de procesos fisiológicos que conducen a la transformación del primordio seminal en una semilla, que contiene un embrión y frecuentemente endospermo, y la transformación del ovario en un fruto.

Los frutos de las Angiospermas son muy diversos y corresponden a distintos mecanismos de dispersión de las semillas que contienen. Pueden ser simples, complejos, cuando además del ovario participan en la formación del fruto otras partes de la flor, y múltiples, que son los resultantes de la maduración de gineceos apocárpicos, esto es, con varios carpelos libres. Hay además infrutescencias, cuando una inflorescencia completa da origen a una estructura fructífera única, como los cenocarpos de las piñas tropicales, las sorosis del género *Morus* (las moras de árbol), o los siconos del género *Ficus* (los higos). Los frutos simples pueden ser secos, de los que hay varios tipos, o carnosos, que son básicamente de dos tipos: bayas y drupas.

Los frutos carnosos de las Angiospermas y las gálbulas de las Gimnospermas contienen una o más semillas rodeadas de una pulpa comestible, y son el reclamo de los animales frugívoros, que se encargan de dispersar sus semillas por endozoocoria, esto es, a través del tubo digestivo, siendo las semillas expulsadas con los excrementos, o regurgitadas, a cierta distancia de la planta productora, lo que evita o disminuye el efecto de la endogamia y resulta en muchas ocasiones en la ampliación del área de distribución de la especie de la que proceden.

Para atraer a los animales frugívoros, los frutos carnosos están más o menos vistosamente coloreados y emiten frecuentemente aromas más o menos intensos. En las áreas templadas, como es el caso de la Región Mediterránea, en la dispersión de las semillas de las especies con frutos carnosos intervienen fundamentalmente dos grupos de vertebrados: las aves y los mamíferos, y en menor proporción los reptiles y peces (Jordano, 2014: 19; Boedeltje & al., 2019; Mulder & al., 2021).

En lo que respecta a su comportamiento en la ingesta de frutos, se distinguen tres tipos de animales frugívoros. En primer lugar, los frugívoros legítimos, que son los que ingieren los frutos enteros y eliminan las semillas con las heces o regurgitándolas, como es el caso del zorro (*Vulpes vulpes*) entre los mamíferos, o del mirlo común (*Turdus merula*) entre las aves (Herrera, 2004). Son en este sentido los más beneficiosos para las plantas, al ser eficaces agentes de dispersión endozoócica. En segundo lugar, los consumidores de pulpa o ladrones de pulpa, como es el caso del conejo de campo (*Oryctolagus cuniculus*), que no comen las semillas, que pueden, sin embargo, ser dispersadas por otros animales, como los ratones de campo o los invertebrados (Fedriani & Suárez-Esteban, 2015: 3). En tercer lugar, los animales que como el verderón (*Chloris chloris*), no proporcionan beneficio alguno para la planta, al extraer exclusivamente las semillas, que pueden romper para consumir su contenido, dejando la pulpa del fruto intacta (Jordano, 2014: 31), pudiéndose en este caso calificarlos de frugívoros depredadores o parásitos (Herrera, 1984: 9; 2004: 128).

En las regiones de clima templado, las aves son los agentes dispersores más eficaces. Las pertenecientes a 17 familias son exclusivamente frugívoras, esto es, con su dieta basada exclusivamente en el consumo de frutos. Las de otras 21 familias, tienen una dieta en la que predomina la ingesta de frutos sobre el consumo de insectos u otras presas. Las de 23 familias más, consumen tanto frutos como animales en proporciones más o menos similares (Jordano, 2014: 19). En su conjunto, más de la mitad de las aves son total o parcialmente frugívoras. De ellas destacan las pertenecientes a las familias sílvidos, túrdidos, colúmbidos y córvidos (Escribano-Ávila & al., 2015: 16).

Les siguen en importancia los mamíferos, incluyendo los carnívoros, y por supuesto los omnívoros, que ingieren frutos carnosos de diversas especies como parte de su dieta, dispersando sus semillas.

Pero también desempeñan ese papel algunos reptiles, como es el caso de la lagartija balear, que dispersa las semillas de *Cneorum tricoccon* (Traveset & Nogales, 2015: 32) y de los lagartos del género *Gallotia*, endémicos de las islas Canarias, que consumen como parte de su dieta frutos de *Plocama pendula*, *Withania aristata*, *Rubia fruticosa* y otras especies, contribuyendo eficazmente a la dispersión de sus semillas (Barquín & Wildpret, 1975; Valido & Nogales, 1994; Valido, 1999; Olesen & Valido, 2004). Hay que añadir que en España peninsular el lagarto ocelado (*Lacerta lepida*) es también un activo dispersor de semillas (Hernández, 1990; Hódar & al., 1996)

LOS COLORES DE LAS FLORES Y DE LOS FRUTOS

Los colores de las flores y de los frutos se deben fundamentalmente a varios tipos de pigmentos, todos ellos con sistemas conjugados con posibilidad de estructuras resonantes, por lo que absorben una parte del espectro visible o del ultravioleta.

La clorofila b, que es el pigmento que da color a todos los órganos vegetativos aéreos de las plantas verdes, apenas contribuye a dar color a las flores, aunque es más frecuente en los frutos. Sin embargo, da color a las estructuras florales de las plantas anemógamas, que para su polinización no necesitan invertir recursos en hacer vistosas a las flores, al recurrir para ello al concurso del viento, por lo que frecuentemente carecen de corola o de todo el periantio, que pudiera dificultar la dispersión del polen o su deposición en los estigmas de las partes femeninas. Entre las entomógamas, apenas se pueden citar ejemplos de especies con flores verdes. Destaca *Narcissus viridiflorus*, un pequeño narciso del SO de España y NO de Marruecos, que se camufla perfectamente con las plantas circundantes y que emite un profundo aroma apropiado para atraer a lepidópteros vespertinos o nocturnos. También presenta flores verdes o verde-amarillentas el heléboro (*Helleborus foetidus*), coloración que debe a sus sépalos, ya que sus pétalos se encuentran transformados en nectarios que producen abundante néctar (Herrera & Soriguer, 1983); parcialmente autógena, es polinizada por himenópteros relativamente grandes, sobre todo de los géneros *Bombus*, *Anthophora*, *Andrena* y *Osmia* (Herrera & al., 2001, 2002).

Los pigmentos quinónicos, de los que se encuentran varios centenares en plantas, proporcionan coloraciones amarillas, anaranjadas o rojizas a las flores de algunas compuestas, como la cartamina y otros pigmentos quinónicos del cártamo (*Carthamus tinctorius*) (Meslhy & al., 1993). Son cetonas derivadas de compuestos aromáticos monocíclicos o policíclicos; en las plantas con flores se encuentran plastoquinonas y antraquinonas (Delgado-Vargas & al., 2000: 182). Algunos de sus derivados absorben luz en el infrarrojo. Se acumulan en las vacuolas celulares.

Mayor importancia tienen las betalainas, pigmentos nitrogenados hidrosolubles que se acumulan en las vacuolas, derivados del ácido betalámico (Marañón-Ruiz & al.,

2011), cuya ruta metabólica se inicia en la fenil-alanina (Hegnauer, 1963: 403), uno de los 20 aminoácidos constituyentes de las proteínas. Están, por lo tanto, relacionados con los alcaloides, salvo que éstos carecen de los grupos carboxílicos de las betalainas. Proporcionan colores rojizos, rosados, anaranjados o violeta (betacianinas), o amarillos (betaxantinas), a las flores y frutos e incluso a órganos subterráneos de un grupo de familias que componen el orden Centrospermas (con excepción de las familias Cariofiláceas y Molugináceas, cuyas flores deben su color a pigmentos flavonoides), entre las que se encuentran las Portulacáceas (a la que pertenecen las verdolagas), Nictagináceas (a la que pertenecen las buganvillas) y sobre todo las Cactáceas, formada por unas 2.000 especies, todas ellas americanas, menos una (*Rhipsalis baccifera*) que vive también en los trópicos de África, y en las islas de Madagascar, Seychelles, Mauricio, Reunión y Sri Lanka (Anderson, 2001: 613). Las betacianinas presentan su máximo de absorción hacia los 540 nm; las betaxantinas, hacia los 480 nm (Marañón-Ruíz & al., l. c.).

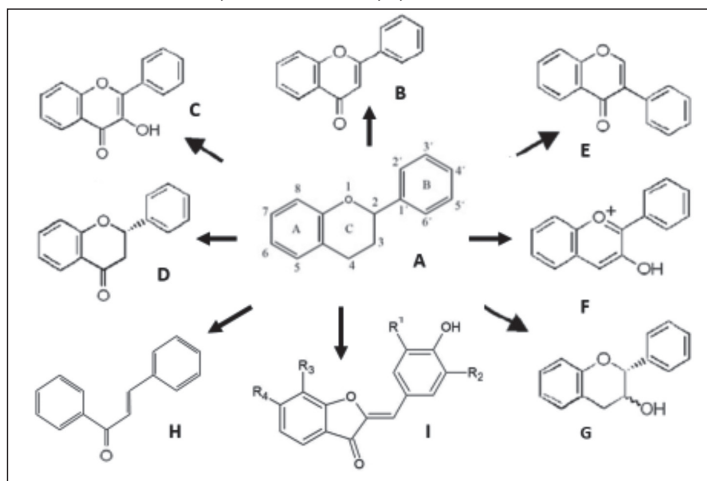
Mucho más importantes como pigmentos florales son los carotenoides, cuyo origen y estructura se han indicado con anterioridad. Son pigmentos liposolubles que se encuentran asociados a las membranas de los cromoplastos de flores y frutos. Se conocen más de 600 carotenoides (Grotewold, l. c.), 40 de los cuales dan coloración a las flores de numerosas especies. De ellos, los carotenos producen colores rojos, rosados o anaranjados, y las xantofilas son responsables de la coloración de la mayoría de las flores amarillas, particularmente las de la familia Compuestas, que con unas 33.000 especies es el grupo con mayor diversidad morfológica de las Angiospermas.

Pero son los pigmentos flavonoides los más importantes en lo que a su contribución a la coloración de flores y frutos se refiere (fig. 2). Se encuentran principalmente en las Angiospermas, pero también están presentes en musgos y helechos. Se conocen más de 8.000 tipos (Iwashina, 2015), de los que entre 400 y 500 corresponden a las antocianinas (Andersen & Markham, 2006). Derivados del ión flavilio, están formados por dos anillos aromáticos (A y B) unidos por tres átomos de carbono que pueden formar o no un tercer anillo heretocíclico (C). Son hidrosolubles, y se acumulan en las vacuolas celulares, siendo estables en estado glicosidado, esto es, estando unidos a uno o más monosacáridos o disacáridos. Como en los demás pigmentos, los átomos de su molécula están unidos por enlaces sencillos y dobles alternados y conjugados, por lo que pueden absorber parte de la radiación luminosa o ultravioleta, mostrando su espectro de absorción dos máximos, uno a menor longitud de onda, del que es responsable el anillo A (porción benzoilo de la molécula) y otro a mayor longitud de onda, producido por el anillo B (porción cinamoilo) (Monedero, 2016: 13). Se encuentran en estado natural principalmente en forma de derivados hidroxilados, metoxilados o glicosidados (Shanker & al., 2017). Corresponden fundamentalmente a ocho tipos: flavonas, flavonoles, antocianonas, isoflavonas, flavononas, flavanos, calconas y auronas.

Las flavonas y los flavonoles se conocen como antoxantinas. En estos compuestos, el anillo C presenta un enlace insaturado entre las posiciones 2 y 3. Su espectro de absorción presenta sus dos máximos en la banda del ultravioleta. No son visibles para el ojo humano, pero sí para los insectos y las aves. Son responsables de las tonalidades blancas, marfileñas y blanco-crema de las flores. Son muy estables e incluso pueden

crystalizar. De las flavonas, las más abundantes son los glicósidos de la acetina y luteolina; de los flavonoles, los glicósidos del kanferol, la miricitina y la quercetina, que están prácticamente presentes en todas las flores.

FIGURA 2
ESTRUCTURAS DEL ION FLAVILIO (A) Y DE SUS PIGMENTOS DERIVADOS: B, FLAVONAS;
C, FLAVONOLES; **D, FLAVONONAS;** **E, ISOFLAVONAS;** **F, ANTOCIANINAS;** **G, FLAVANOS;**
H, CHALCONAS; **I, AURONAS**



Las antocianinas, que son responsables de las tonalidades azules, azul-violeta, malva, púrpuras, anaranjadas, rosadas y rojas de la mayoría de las flores, se caracterizan por la presencia de un catión pirilo en el anillo C. Son inestables, y su coloración se modifica con el pH del medio; son más azuladas en medio básico y más rojizas en medio ácido. Su espectro de absorción presenta un máximo en la luz visible y otro en la ultravioleta. Los más importantes, de los que derivan todos los demás, son la cianidina, de color rojo, que se encuentra en el 69% de los frutos y en el 50% de las flores de este color, seguido por la delphinidina, de color azul, y de la pelargonidina, de color rojo-anaranjado (Harborne, 1963). Les siguen en importancia la peonidina, derivada de la cianidina, y la petunidina y la malvidina, derivadas de la delphinidina (Zhao & Tao, 2015).

Las isoflavonas se diferencian de las flavonas en que el anillo bencénico B está unido al carbono 3 del anillo heterocíclico, en lugar de hacerlo al carbono 2 como en las flavonas. Sus espectros de absorción presentan sus dos máximos en la banda del ultravioleta; el debido al anillo A, a 245-270 nm y el debido al anillo B, entre 310 y 330 nm (Jung & al., 2020). Protegen a los tejidos de las plantas de las infecciones bacterianas (Vacek & al., 2008).

En las flavononas y flavanos se inhibe la resonancia, ya que los carbonos 2 y 3 del anillo heterocíclico están unidos por un enlace sencillo en lugar de uno doble, por lo que no contribuyen a proporcionar coloración a las flores. Las flavononas tienen actividad

antibacteriana y antifúngica (Zuiter & Zarga, 2014), y tanto unas como otros proporcionan a nuestra especie efectos beneficiosos como antioxidantes (Aron & Kennedy, 2008; Zuiter & Zarga, l. c.), al igual que las isoflavonas, que son importantes remedios para combatir determinadas enfermedades y disfunciones relacionadas con el envejecimiento.

Las chalconas difieren en su estructura química de los flavonoides anteriormente descritos en que en lugar del anillo heterocíclico C tienen una cadena lineal insaturada que conecta los anillos A y B. Su espectro de absorción presenta un máximo en la banda de la luz visible, desde el violeta hasta el verde, y otro en la banda del ultravioleta.

Las auronas, que proporcionan a las flores colores amarillos intensos (Zwergel & al., 2012: 389), tienen una estructura similar a la de las chalconas, con la diferencia de que en lugar de la cadena lineal presentan un anillo de furano condensado con el anillo benzenico A. Como las chalconas, absorben en el ultravioleta y en el visible de onda corta (Shanker & al., 2017). Tanto chalconas como auronas son responsables de los colores amarillos y anaranjados de muchas flores; se diferencian de los carotenoides amarillos en que viran a rojizo cuando se basifica el medio, lo que no hacen las antoxantinas. Este hecho se pone de manifiesto en muchas plantas que como *Bidens ferulifolia* tiene las flores liguladas uniformemente coloreadas de amarillo por xantofilas y contienen en la parte basal también chalconas y auronas (Miosic & al., 2013).

En las flores hay frecuentemente copigmentación entre pigmentos de un mismo grupo, como en las flores de las especies de *Linaria*, cuya pigmentación se debe a diversas combinaciones de auronas, flavonas, flavonoles y antocianinas, además de aucubina (un monoterpene) y varios ácidos cinámicos (Valdés, 1970). Pero la modificación del color puede producirse por copigmentación entre flavonoides y otros compuestos fenólicos, como en *Geranium sylvaticum*, cuyo color azul de las flores se debe a la copigmentación entre antocianinas y taninos (Tuominen & al., 2015), o a la modificación de flavonoides por quelación con hierro, magnesio o molibdeno (Harborne, 1963: 384), como ocurre con las flores de *Cyanus segetum* (= *Centaurea cyanus*), que son azules debido a la quelación con hierro de la cianidina roja que acumulan.

En los párrafos anteriores se han indicado los pigmentos responsables de las coloraciones de flores y frutos. Al tener los átomos de carbono de sus moléculas unidos por enlaces simples y dobles alternantes, absorben determinadas longitudes de onda en el espectro visible, en el ultravioleta, o en ambos, y reflejan el resto de la radiación luminosa produciendo los correspondientes colores. Pero hay también, aunque son raros en plantas (Sun & al., 2013), colores estructurales producidos por reflexión selectiva debida a interacción de la luz con moléculas o nanoestructuras de los órganos coloreados. En unos casos se debe a la estructura estriada de la cutícula que recubre la epidermis de los pétalos, que actúa como una rejilla de difracción; así ocurre en las flores de determinadas especies de *Tulipa*, en las de *Nolana paradoxa* y *Mentzelia lindleyi*, en la base de los pétalos de *Hibiscus trionum* (Whitney & al., 2009a, 2009b; Glover & Whitney, 2010; Vignolini & al., 2014), o en el espéculo del labelo de las orquídeas del género *Ophrys* (Whitney & al., 2009b: 231). En otros casos, se debe a la disposición de las capas de microfibrillas de celulosa de las paredes de las células del epicarpo, como en los frutos

de *Pollia condensata* (Vignolini & al., 2016) o de *Margaritaria nobilis* (Vignolini & al., 2012), o de las capas de lípidos globulares de dichas paredes celulares, como en el caso de *Viburnum tinus* (Middleton & al., 2020). Se producen como resultado colores metálicos brillantes, normalmente azules, frecuentemente con marcada iridiscencia.

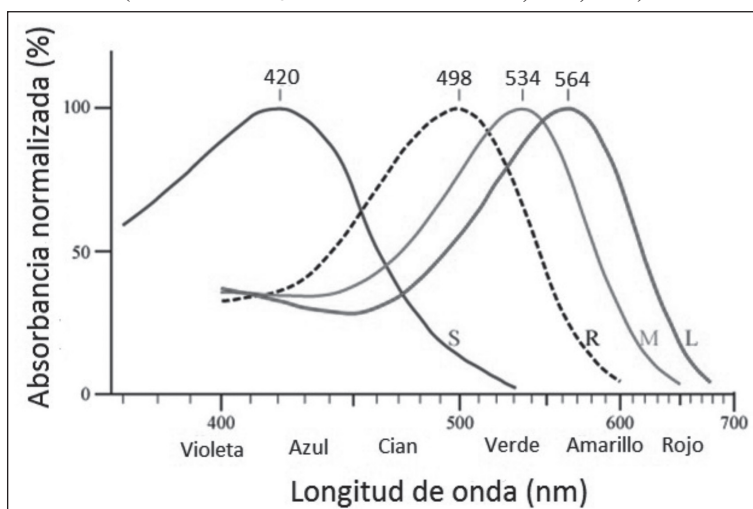
VISIÓN DE LOS COLORES POR EL HOMBRE

Vemos los colores gracias a nuestro sistema visual, que se manifiesta al exterior por los dos ojos situados en la parte frontal de la cabeza, lo que nos permite tener visión estereoscópica. La luz atraviesa la pupila, el cristalino y la cámara de humor vítreo y llega a la retina, que recibe las sensaciones luminosas y las trasmite a la parte posterior del cerebro a través del nervio óptico. La retina es, como recuerda Orellana (2020: 98) que decía Antonio Piñero, “un trozo de cerebro que se asoma a la luz”.

La retina está formada por 10 capas paralelas de neuronas interconectadas mediante sinapsis. Las únicas células directamente sensibles a la luz son los conos y los bastones. La retina humana contiene unos 120 millones de bastones y unos 6,5 millones de conos.

Los bastones son fotorreceptores que se activan en la oscuridad y que son responsables de la visión en condiciones de baja luminosidad (en ausencia total de luz es imposible la visión). No perciben los colores y dan poco detalle de la imagen, pero son sensibles al movimiento. Su pigmento presenta su mayor absorbancia a los 498 nm, en la banda del verde (Jiménez del Barco, 2020: 60).

FIGURA 3
CURVAS DE ABSORCIÓN ESPECTRAL NORMALIZADA DE LOS FOTORRECEPTORES
RETINIANOS, BASTONES (R) Y CONOS (S, M Y L), CON INDICACIÓN DE LAS
LONGITUDES DE ONDA DE MÁXIMA SENSIBILIDAD
(TOMADO DE JIMÉNEZ DEL BARCO, 2022, P. 62)



Los conos son los receptores de los colores. Se activan en condiciones elevadas de luz, son sensibles al contraste y dan un alto detalle de las imágenes. En nuestra retina, y en la de algunos otros primates, hay tres tipos de conos, que se denominan L, M y S. La densidad de distribución de los mismos se encuentra aproximadamente en la proporción 12:6:1 (Jiménez del Barco, l.c.: 61). La absorbancia de sus pigmentos cubre todo el espectro de la luz visible, pero cada uno de ellos presenta un máximo en distintas zonas del espectro (fig. 3). Los L (del inglés long), presentan su rango de absorbancia entre los 500 y 700 nm, con un máximo en el rojo, a los 564 nm; son los fotorreceptores para el rojo. Los M (del inglés médium) tienen su absorbancia fundamentalmente en la banda del verde, entre 450 y 630 nm, con un máximo a los 534 nm. Los S (del inglés short), son sensibles a la luz azul-violeta, entre los 400 y 440 nm, con un máximo de absorbancia a los 420 nm (Hunt, 2004: 11-12; Jiménez del Barco, l.c.: 60). La combinación de estos colores básicos permite al ojo humano percibir alrededor de 8.000 colores y matices, con un determinado nivel de luminancia.

Tanto en los bastones como en los conos, los pigmentos visuales están asociados a las membranas lipoproteicas de una serie de discos que forman la estructura de su parte distal, que es la receptora de la luz.

El pigmento visual de los bastones se denomina rodopsina o púrpura visual. Cada unidad de rodopsina está formada por siete hélices de una proteína (opsina) que rodea a una molécula de 11-cis-retinal, derivado del β -caroteno. En estado de reposo, el retinal se encuentra plegado. La luz, al incidir, transforma el 11-cis-retinal en su isómero todo-trans-retinal. La isomerización se produce en fracciones de milésima de segundo, y al alargarse el retinal abre el núcleo proteico y se genera una corriente nerviosa que se transmite a lo largo del nervio óptico al cerebro, donde se procesa la sensación luminosa. Parece ser la única reacción de isomerización que no está controlada por una isomerasa. La rodopsina se regenera al convertirse la todo-trans-retinal en 11-cis-retinal, proceso que requiere aporte de energía y que está controlado por la enzima isomerasa del retinal. Una vez formado el 11-cis-retinal, se recombina con la opsina para reconstruir la rodopsina, que permanece estable hasta que vuelve a desencadenarse la reacción lumínica (Guyton & Hall, 2011:612). Si falta retinal, se producen nuevas moléculas a partir de la vitamina A (todo-11-trans-retinol), presente en el citoplasma de bastones y conos, con formación primero de 11-cis-retinol. Y a la inversa; si hay un exceso de retinal en la retina, vuelve a transformarse en vitamina A (Guyton & Hall, l. c.: 611-612).

Los pigmentos visuales de los conos son denominados pigmentos del color. Su composición química coincide casi por completo con la rodopsina, con el retinal como grupo prostético, que funciona igual que en la rodopsina. La única diferencia consiste en que su parte proteica, denominada aquí fotopsina, difiere en unos pocos aminoácidos, lo que hace que cada uno de los tres tipos de pigmento visual absorba en una banda distinta del espectro de la luz visible que, como se ha indicado, cubren por completo.

La presencia en la retina de los tres tipos de conos funcionales produce la visión tricromática normal. Pero hay alteraciones en el funcionamiento de la retina. Si faltan los conos, o no contienen pigmentos del color, se produce la acromatopsia, o ceguera para los colores, afección ocular muy rara; sólo se perciben el blanco, el negro y todos los

tonos del gris. Pero no es tan rara la falta de uno o dos de los tres tipos de conos, o de los pigmentos visuales que contienen, lo que tiene como consecuencia la incapacidad de distinguir determinados colores, o discromatopsias, afecciones que se conocen popularmente como daltonismo, la mayoría de las cuales son hereditarias y debidas a factores genéticos recesivos ligados al cromosoma X, por lo que se da con mayor frecuencia en los hombres que en las mujeres (Jiménez del Barco, l. c.: 74)

El daltonismo puede ser monocromático, si la retina sólo dispone de uno de los tres fotorreceptores, o dicromático, cuando sólo falta uno. Tanto en uno como en otro se presentan tres afecciones. En el dicromático, la falta de fotorreceptores para el azul produce la tritanopia, que es muy rara, careciendo los tritanopes de sensibilidad para el azul. En la deuteranopia, faltan los fotorreceptores del verde, por lo que los deuteranopes tienen dificultad para distinguir el verde y el rojo. En la protanopia, que es el tipo más común de daltonismo, faltan los conos receptores del rojo, color que son incapaces de ver los protanopes.

VISIÓN DE LOS COLORES POR LOS ANIMALES

Pero las plantas, fundamentalmente las Angiospermas, no se han molestado en invertir recursos para sintetizar los numerosos pigmentos que tiñen las flores y los frutos para que los contemplen los ojos de la especie humana, sino para que puedan verlos los ojos de los animales que van a ser sus polinizadores y los dispersores de sus semillas.

En los ambientes mediterráneos, son los ojos compuestos de los insectos los receptores de los diversos colores con los que los atraen las flores de las Angiospermas, de las que van a ser su principal agente de polinización.

El ojo compuesto de un insecto está formado por la reunión de numerosos ojos simples u omatidios, en número muy variable, desde los de la mosca doméstica o los de la mosca del vinagre (*Drosophila melanogaster*), por ejemplo, formados por unos 4.000 omatidios, hasta los de los odonatos (libélulas, etc., que son depredadores), que pueden presentar hasta más de 40.000, pasando por los de los himenópteros, con unos 6.000 en el caso de la abeja doméstica (*Apis mellifera*), y por los de los lepidópteros, cuyos ojos compuestos constan de entre 10.000 y 30.000 omatidios (Jordan, 2013).

Cada omatidio funciona en cierto modo como un ojo simple. Presenta varias células pigmentadas, que equivalen a los conos de la retina humana en cuanto a la capacidad de recepción del color se refiere. Cada uno de los omatidios se prolonga por un cilindro-eje o axón, cuyo conjunto forma un nervio óptico que llega al cerebro, donde se procesa el estímulo visual. La composición de sus pigmentos visuales coincide con la de los conos y bastones de la retina humana, pues los pigmentos visuales han evolucionado en el reino animal a partir de un tipo primitivo, que se ha mantenido y diversificado a lo largo de su evolución. En los insectos, se encuentran ligados a las membranas celulares.

La capacidad visual de los insectos es distinta a la humana, ya que sólo comparten con nuestra especie parte de los fotorreceptores.

Los himenópteros (abejas, abejorros, avispas), que se encuentran entre los principales agentes polinizadores, carecen de fotorreceptores para el rojo; pero presentan fotorreceptores para el ultravioleta, y ven, por tanto, además de en buena parte del espectro visible, en la banda comprendida entre 250 y 400 nm, que el ojo humano es incapaz de ver. Por tanto, ven las flores de una manera muy distinta a como las ve el hombre, pues distinguen, por ejemplo, los colores debidos a flavonas y flavonoles, que presentan sus dos máximos de absorción en el ultravioleta, así como las tonalidades debidas a la absorción del anillo A de antocianinas, chalconas y auronas.

La capacidad visual de los lepidópteros es muy superior, pues cubre todo el espectro de radiación comprendido entre 250 y 750 nm, al tener fotorreceptores desde el ultravioleta hasta el rojo, en número variable, pero muy superior a los de nuestra especie y a los de los himenópteros, a juzgar por los casos conocidos. Así, *Papilio xuthus*, una mariposa nativa del E de Asia e Islas Hawái, presenta seis fotorreceptores (Arikawa, 2003), y la blanquilla de la col (*Pieris rapae*), muy común en toda Europa, N de África y Asia, e introducida en América del Norte, Australia y Oceanía, presenta siete fotorreceptores, con la particularidad de que uno de los fotorreceptores de onda corta absorbe en las hembras en el ultravioleta y en los machos en el azul (Arikawa & al., 2005). El caso más extremo en mariposas se da en *Graphium sarpedon* (triángulo azul), nativa del S y E de Asia y E de Australia, con 15 fotorreceptores (Chen & al., 2016).

Los dípteros disponen de cuatro fotorreceptores sensibles a distintas longitudes de onda, incluyendo la luz ultravioleta, aunque se conocen pocos casos (Lanau, 2014) y los estudios se han centrado fundamentalmente en *Drosophila melanogaster*. En cuanto a los coleópteros, los casos conocidos indican que disponen de dos (Martin & al., 2015) o tres (Jiang & al., 2015) tipos de pigmentos visuales, que detectan la luz en la región del ultravioleta, o próxima al ultravioleta, y en la visible.

De modo que los insectos, particularmente los himenópteros y lepidópteros, ven las flores de las Angiospermas de distinta manera a como las vemos, y distinguen en ellas señales que el ojo humano no puede distinguir, como las guías nectaríferas debidas a flavonas y flavonoles, que destacan para los insectos y los guían a las partes de la flor en las que se encuentran los órganos reproductores. Frecuentemente se encuentran en las flores pigmentos de grupos diferentes, en cuyo caso unos pueden proporcionar el color básico y otros formar guías nectaríferas. Así, en *Brassica rapa*, una especie de la familia Crucíferas, el color amarillo de los pétalos se debe a la presencia de luteína, acompañada de violaxantina, dos carotenoides, mientras que en la base de los pétalos se acumula un flavonol (isoramnetín-3,7-di-beta-glucopiranosido) que actúa como guía nectarífera para los insectos (Sasaki & al., 2002). La presencia de guías nectaríferas en la base de las flores de especies de la familia Compuestas cuyo color se debe generalmente a la presencia de carotenoides, es bastante frecuente. Así, las lígulas amarillas o rojizas de *Rudbeckia hirta* acumulan en su base dos flavonoles derivados de la patuletina y uno derivado de la quercetina (Thomson & al., 1972) que actúan como guías nectaríferas que el ojo humano es incapaz de ver.

En cuanto a los vertebrados, que pueden actuar en los ecosistemas mediterráneos como dispersores de las semillas de especies productoras de frutos carnosos, sus ojos

son simples, como en el caso de la especie humana, pero su capacidad visual es muy diferente.

La mayoría de los mamíferos, exceptuados parte de los primates, que tenemos visión tricromática, tienen visión dicromática, pues carecen de fotorreceptores para el rojo, por lo que en lo que respecta a su capacidad visual pueden compararse con los daltónicos protanopes. Pueden ver los tonos violetas, azules, verdes y amarillos, pero no los rojos.

Pero las aves tienen una agudeza visual muy superior a los mamíferos, incluido el hombre. En primer lugar, presentan un tercer párpado, o membrana nictitante, que se encuentra también en otros vertebrados, como los reptiles. Les permite proteger y limpiar el ojo sin necesidad de cerrarlo; en algunos casos lo abren y cierran en sentido vertical y en otros en el horizontal. En segundo lugar, la retina presenta un pliegue, el pecten oculi, que es un órgano muy vascularizado y pigmentado con melanina, que se inserta en las proximidades del origen del nervio óptico y penetra en el interior de la cámara de humor vítreo (Braekevelt, 1993). Puede ser cónico, plegado o plisado; su papel principal parece ser nutrir a la retina y formar una barrera al exceso de luz (Dayan & Ozaydin, 2013). Pero la mayor ventaja deriva de que su retina presenta bastones, en mayor cantidad en las aves nocturnas que en las diurnas (Gutiérrez Tarres, 2015: 94-94), cuatro tipos de conos simples y un tipo de conos dobles. Cada uno de los tipos de conos simples son sensibles a la luz roja, a la verde, a la azul, y, a excepción de algunas rapaces nocturnas (González-Martín & al., 2017), a la ultravioleta; a ellos deben las aves la visión del color. Los conos dobles y los bastones son responsables de la apreciación de la luz en condiciones de baja y alta intensidad luminosa (Braekevelt, l. c.). Además, en la parte distal de los conos y bastones se encuentra una gotita de aceite con carotenoides (Arikawa & al., 2005), que también se encuentra en los conos de los reptiles, pero no en los de los mamíferos; parece actuar como microlente que concentra la luz incidente en la parte fotorreceptora, mejorando la discriminación del color (Kram & al., 2010) y como filtro espectral para distintas longitudes de onda (Gutiérrez Torres, l. c.: 11), reduciendo el brillo y las aberraciones cromáticas (Braekevelt & al., 1996: 85). Por todo ello, la agudeza visual de las aves es muy superior a la de todos los demás vertebrados.

En cuanto a los reptiles, no se conoce mucho sobre su capacidad visual, pero por los casos conocidos, se sabe que al menos los Lacértidos tienen, como las aves, visión tetracromática (Davies & al., 2012; Katti & al., 2019), con fotorreceptores para el rojo, verde, azul y ultravioleta.

De modo que los animales, tanto los polinizadores como los dispersores de semillas, ven los colores de las plantas de distinta manera a como los ve la especie humana. Distinguen además de forma más eficaz el contraste de flores y frutos sobre el color general dominante de la vegetación debido a la clorofila b. Son los sistemas visuales de los animales los que han condicionado la acumulación de distintos tipos de pigmentos tanto en las flores como en los frutos.

EPÍLOGO

Así que las plantas terrestres son verdes, pero a lo largo de su evolución han ido produciendo miles de compuestos secundarios del metabolismo celular. Utilizan unos, como los glicósidos cianogénicos, terpenos y alcaloides, con fines defensivos, y otros, como los distintos tipos de pigmentos florales y de frutos, para atraer a los animales polinizadores y dispersores de semillas, lo que en el caso de la polinización ha resultado en una marcada coevolución entre las flores y sus polinizadores, consecuencia de la cual ha sido el notable polimorfismo de estructuras florales de las Angiospermas, responsable en buena medida de que estén compuestas por unas 270.000 especies (Iwashina, l. c.: 539), y la diversificación de varios grupos de insectos.

Fuera de las piezas vistosas de las flores y de las cubiertas de los frutos carnosos, los pigmentos, que se acumulan en todas las partes aéreas de las plantas, y a veces en las subterráneas, están enmascarados por la clorofila y por eso vemos verdes a las plantas de nuestros ecosistemas. Pero en los árboles y arbustos caducifolios, cuando va a producirse la caída de las hojas, que está precedida por la descomposición de la clorofila, podemos contemplar sus preciosos tonos rojizos y amarillos debidos s”obre todo, que nos indican que su periodo vegetativo ha llegado a su fin.

Agradecimientos. El autor desea expresar su más sincero agradecimiento a D. Miguel Ángel de la Rosa Acosta, Doña Rosario Fernández Fernández y D. Pedro Jordano Barbudo, Académicos Numerarios de la Real Academia Sevillana de Ciencias, por su revisión crítica de este discurso. Sus comentarios, observaciones y correcciones han contribuido considerablemente a mejorar su contenido.

BIBLIOGRAFÍA

- ADALSORO, J.J. & L. SÁEZ (2005). *Ophrys*. En C. AEDO & A. HERRERO (eds.) *Flora Iberica. Plantas vasculares de la Península Ibérica e Islas Baleares* **21**: 165-195. Madrid, Real Jardín Botánico, C.S.I.C.
- ANDERSEN, O.M. & K.R. MARKHAM (eds.) (2006). *Flavonoids. Chemistry and applications*. Boca Raton, C. R. C. Press.
- ANDERSON, E.F. (2001). *The cactus family*. Portland, Oregon, Timber Press.
- ARANGO, O. (2013). Consideraciones sobre la polinización ornitófila del bejenque *Aeonium arbo-reum* subsp. *holochrysum* en el Parque Nacional de La Caldera de Taburiente (La Palma). *Makaronesia* **15**: 98-105.
- ARIKAWA, K. (2003). Spectral organization of the eye of a butterfly, *Papilio*. *J. Comp. Physiol. A* **189**: 791-800. Doi:10.1007/100359-003-0454-7.
- ARIKAWA, K., M. WAKAKUMA, X. QIU, M. KURASAWA & D.G. STAVENGA (2005). Sexual dimorphism of short-wavelength photoreceptors in the small white butterfly, *Pieris rapae crucivora*. *J. Neurosci.* **25(25)**: 5935-5942. DOI:http://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.1364-05.2005.
- ARON, P.M. & J.A. KENNEDY (2008). Flavan-3-ols: nature, occurrence and biological activity. *Mol. Nutr. Food Res.* **52(1)**: 79-104.
- BARQUÍN, E. & W. WILDPRET (1975). Diseminación de plantas canarias: datos iniciales. *Viereia* **5**: 38-60.

- BOEDELTEJE, G., B. KLUTMAN, M. SCHAAP, P. SOLLMAN, M. DE VOS, J.P.M. LENSSEN & W.C.E.P. VERBERK (2019). Plant dispersal in a temperate stream by fish species with contrasting feeding habits: the role of plant traits, fish diet, season and propagule availability. *Front. Ecol. Evol.*, 2019 (<https://doi.org/10.3389/fevo.2019.00054>).
- BRAEKEVELT, C.R. (1993). Fine structure of the pecten oculi in the great horned owl (*Buho virginianus*). *Histol. Histopath.* **8**: 9-15.
- BRAEKEVELT, C.R., S.A. SMITH & B.J. SMITH (1996). Fine structure of the retinal photoreceptors of the barred owl (*Strix varia*). *Histol. Histopath.* **11**: 79-88.
- CAIRNS-SMITH, A.G. (1982). *Genetic takeover and the mineral origins of life*. Cambridge. Cambridge University Press.
- CAIRNS-SMITH, A.G., J. HALL & M.J. RUSSELL (1992). Mineral theories of the origin of life and an iron sulfide example. *Orig. Life Evol. Biosph.* **22**: 161-180.
- CAVALIER-SMITH, T. (1981). Eukaryote kingdoms: seven or nine? *Biosyst.* **14**: 461-481.
- CAVALIER-SMITH, T. (1998). A revised six-kingdoms system of life. *Biol. Rev.* **73**: 203-266.
- CHEN, P.J., H. AWATA, A. MATSUSHITA, E.-C. YANG & K. ARIKAWA (2016). Extrem spectral richness in the eye of the common bluebottle butterfly, *Graphium sarpedon*. *Front. Ecol. Evol.* **4**: 1-12. Doi:10.3389/fevo.2016.00018
- DA SILVA, L.P., J.A. RAMOS, J.M. OLESEN, A. TRAVESET & R.H. HELENO (2014). Flower visitation by birds in Europe. *Oikos* **123**: 1377-1383.
- DAVIES, W.I.L., C.P. COLLIN & D.M. HUNT (2012). Molecular ecology and adaptation of visual photopigments in craniates. *Mol. Ecol.* **21**: 3121-3158.
- DAYAN, M.O. & T. OZAYDIN (2013). A comparative morphometrical study of the Pecten Oculi in different avian species. *Scient. World J.* 2013. ID 968652, <http://dx.doi.org/10.1155/2013/968652>.
- DE LA ROSA, M.A. (2005). *La luz en biología. Aplicaciones de interés industrial y agrícola*. Sevilla, Secretariado de Publicaciones de la Universidad de Sevilla y Fundación Focus-Agengoa.
- DE LA ROSA, M.A., A. DÍAZ-QUINTANA & I. DÍAZ-MORENO (2020). La luz en Biología: fotosíntesis. En B. VALDÉS (ed.) *La luz, vida, ciencia, progreso*: 17-50. Málaga, Instituto de Academias de Andalucía.
- DELGADO-VARGAS, F., A.R. JIMÉNEZ & O. PAREDES-LÓPEZ (2000). Natural pigments: carotenoids, anthocyanins and betalains – characteristics, biosystematics, biosynthesis, processing and stability. *Cr. Rev. Food Sci. Nutr.* **40(3)**: 173-289.
- DEMENT, W.A. & P.H. RAVEN (1974). Pigments responsible for ultraviolet patterns in flowers of *Oenothera* (Onagraceae). *Nature* **252**: 705-706.
- EDWARDS, P. (1976). A classification of plants into higher taxa based on cytological and biochemical criteria. *Taxon* **25**: 529-542.
- ESCRIBANO-ÁVILA, G., B. PÍAS, A. ESCUDERO & E. VIGÓS (2015). Importancia ecológica de los mamíferos frugívoros en la dinámica de regeneración de campos abandonados en ambientes mediterráneos. *Ecosist.* **24(3)**: 35-42.
- FEDRIANI, J.M. & A. SUÁREZ-ESTEBAN (2015). Frutos, semillas y mamíferos frugívoros: diversidad funcional de interacciones poco estudiadas. *Ecosist.* **24(3)**: 1-4.
- FOX, S. (1988). *The emergence of life: Darwinian evolution from the inside*. New York, Basic Books
- GLOVER, B.J. & H.M. WHITNEY (2010). Structural colour and iridescence in plants: the poorly studied relations of pigment colour. *Ann. Bot.* **105(4)**: 505-511.
- GONZÁLEZ-MARTÍN, J., J.L. HERNÁNDEZ-VERDEJO & A. CLEMENT-CORRAL (2017). El sistema visual de las rapaces diurnas: Revisión actualizada. *Arch. Soc. Esp. Oftalm.* **92(5)**: 225-232.
- GOODWIN, A.M. (1991). *Precambrian geology*. London, Academic Press.
- GROTEWOLD, E. (2006). The genetics and biochemistry of floral pigments. *Ann. Rev. Pl. Biol.* **57**: 761-780.

- GUTIERREZ TARRES, M.A. (2015). *Organización de la capa plexiforme externa de la retina de las aves: fotorreceptores y células horizontales*. Tesis Doctoral. Universidad de Madrid, Facultad de Medicina.
- GUYTON, A.C. & J.E. HALL (2011). *Tratado de fisiología médica*, ed. 12. Elsevier España S. L. (libro electrónico).
- HAECKEL, E. (1894). *Systematische Phylogenie. I. Systematische Phylogenie der Protisten und Pflanzen*. Berlin, Reiner.
- HAN, T.M. & B. RUNNEGAR (1992). Megascopic eukaryotic algae from the 2,1-billion-year-old Neogaussian iron-formation, Michigan. *Science* **257**: 232-235.
- HANSEN, D.M., T. VAN DER NIET & S.D. JOHNSON (2011). Floral signposts: testing the significance of visual 'nectar guides' for pollinator behaviour and plant fitness. *Proc. Royal Soc., B* **279**: 634-639.
- HARAN, R., I. IZHAKI & A. DAFNI (2018). Specialist nectarivorous birds (*Cinnyris osea*) steal nectar whereas omnivorous birds are pollen transfer vectors of *Anagyris foetida*. *J. Pollin. Ecol.* **23**(9): 82-89.
- HARBORNE, J.B. (1963). Distribution of anthocyanins in higher plants. En T. SWAIN (ed.) *Chemical plant taxonomy*: 359-388. London & New York, Academic Press.
- HARBORNE, J.B. & D.M. SMITH (1978). Anthocyanins and other flavonoids as honey guides in the Compositae. *Biochem. Syst. Ecol.* **6**: 287-291.
- HEGNAUER, R. (1963). The taxonomic significance of alkaloids. En T. SWAIN (ed.) *Chemical plant taxonomy*: 389-427. London & New York, Academic Press.
- HERNÁNDEZ, A. (1990). Observaciones sobre el papel del lagarto ocelado (*Lacerta lepida* Daudin), el erizo (*Erinaceus europaeus* L.) y el tejón (*Meles meles* L.) en la dispersión de semillas. *Doñana, Acta Vert.* **17**: 235-242.
- HERRERA, C.M. (1984). A study of avian frugivores, bird-dispersed plants, and their interaction in Mediterranean scrublands. *Ecol. Monogr.* **54**(1): 1-23.
- HERRERA, C.M. (2004). Ecología de los pájaros frugívoros ibéricos. En J.L. TELLERÍA (ed.) *La ornitología hoy. Homenaje al Profesor Francisco Bernis Madrazo*: 127-153. Madrid, Editorial Complutense.
- HERRERA, C.M., J. CERDÁ, M.B. GARCÍA, J. GUITIÁN, M. MEDRANO, P.J. REY & A.M. SÁNCHEZ-LAFUENTE (2002). Floral integration phenotypic covariance structure and pollination variation in bumblebee-pollinated *Helleborus foetidus*. *J. Evol. Biol.* **15**: 108-121.
- HERRERA, C.M., A. SÁNCHEZ-LAFUENTE, M. MEDRANO, M. GUITIÁN, J. CERDÁ & P.J. REY (2001). Geographical variation in autonomous self-pollination levels unrelated to pollination service in *Helleborus foetidus* (Ranunculaceae). *Am. J. Bot.* **88**(6): 1025-1032.
- HERRERA, C.M. & R.C. SORIGUER (1983). Intra- and inter-floral heterogeneity of nectar production in *Helleborus foetidus* L. (Ranunculaceae). *Bot. J. Linn. Soc.* **86**: 253-260.
- HITA, E. (2020). La luz láser, una herramienta para la ciencia y la técnica del siglo XXI. En B. VALDÉS (ed.) *La luz, vida, ciencia, progreso*: 123-172. Málaga, Instituto de Academias de Andalucía.
- HODAR, J.A., F. CAMPOS & B.A. ROSALES (1996). Trophic ecology of the Ocellated lizard *Lacerta lepida* in an arid zone of Southern Spain: relationships with availability and daily activity of prey. *J. Arid Environm.* **33**: 95-107.
- HOFFMANN, L. (1989). Algae of terrestrial habitats. *Bot. Rev.* **55**(2): 77-105.
- HUNT, R.W.G. (2004). *The reproduction of colour*, ed. 6. Chichester, John Wiley & sons, Ltd.
- IWASHINA, T. (2015). Contribution to flower colors of flavonoids including anthocyanidins: A review. *Nat. Prod. Commun.* **10**(3): 529-544.
- JIANG, Y.-L., Y.-Y. GUO, Y.-Q. WU, T. LI, Y. DUAN, J. MIAO, Z.-J. GONG & Z.J. HUANG (2015). Spectral sensibility of the compound eyes of *Anomala corpulenta* Motschulsky (Coleoptera: Scarabaeoidea). *J. Integr. Agric.* **14**(4): 706-713.

- JIMÉNEZ DEL BARCO, L.M. (2020). Procesamiento espectral de la energía radiante por el sistema visual humano. En B. Valdés (ed.) *La luz: vida, ciencia, progreso*: 51-94. Málaga, Instituto de Academias de Andalucía.
- JORDÁN, F. (2013). La visión de los insectos. *Investigación y Ciencia*, **septiembre 2013**.
- JORDANO, P. (2014). Fruits and frugivory. En R.S. GALLAGHER (ed.) *Seeds: The ecology of regeneration in plant communities*, ed. 3: 18-61. Wallingford, CAB International.
- JUHG, Y.-S., C.-S. RHA, M.-Y. BAIK, N.-I. BAEK & D.-O. KIM (2020). A brief history and spectroscopic analysis of soy isoflavones. *Food Sci. Biotechnol.* **29**: 1605-1617.
- KATTI, C., M. STACEY-SOLIS, N.A. CORONEL-ROJAS & W.I.L. DAVIES (2019). The diversity and adaptive evolution of visual photopigments in reptiles. *Front. Ecol. Evol.* **7**: n. **352**. Doi 10.3389/fevo.2019.00352.
- KRAM, Y.A., S. MANTEY & J.C. CORBO (2010). Avian cone photoreceptors tile the retina as five, independent, self-organizing mosaics. *PLOS ONE* **5**(2):e8992. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0008992>.
- LANAU, K. (2014). Visual ecology of flies with particular reference to colour vision and colour preferences. *J. Comp. Physiol.*, **A 200**: 497-512.
- LEEDALE, G.F. (1974). How many are the kingdoms of organism? *Taxon* **23**: 261-270.
- LEVINE, R.P. (1971). El mecanismo de la fotosíntesis. En J. R. VILLANUEVA (ed.) *La base molecular de la vida*: 378-387. Madrid, Editorial Blume.
- LINNAEUS, C. (1766). *Systema Naturae. Per Regna Tria Naturae*. ed. 12. Holmia.
- MARAÑÓN-RUIZ, V.F., L. DEL C. RIZO DE LA TORRE & R. CHIU-ZARATE (2011). Caracterización de las propiedades ópticas de Betacianinas y Betaxantinas por espectroscopia UV-Vis barrido en *Z. Superf. Vacío* **24(4)**: 113-120.
- MARGULIS, L. & K.V. SWARTZ (1985). *Cinco reinos. Guía ilustrada de los phyla de la vida en la Tierra*. Barcelona, Editorial Labor S. A.
- MARTIN, G.J., N.P. LORD, M.A. BANHAM & S.M. BYBEE (2015). Review of the firefly visual system (Coleoptera: Lampyridae) and evolution of the opsine genes underlying color vision. *Org. Div. Evol.* **15**: 513-526.
- MESELHY, M.R., S. KADOT, Y. MOMOSE, N. HATAKEYEMA, A. KUSAI, H. HATTORI & T. NAMBA (1993). Two new quinochalcone yellow pigments from *Carthamus tinctorius* and Ca²⁺ antagonistic activity of tinctormine. *Chem. Pharm. Bull. (Tokyo)* **41(10)**: 1796-1802.
- MIDDLETON, R., M. SINNOTT-ARMSTRONG, Y. OGAWA, G. JACUCCI, E. MOYROUD, P.J. RUDALL, C. PRYCHID, M. CONEJERO, B.J. GLOVER, M.J. DONOGHUE & S. VIGNOLI (2020). *Viburnum tinus* fruits use lipids to produce metallic blue structural color. *Current Biol.* **30**: 3804-3810.
- MILLER, S.L. & H.C. UREY (1959). Organic compounds synthesis on the primitive Earth conditions. *Science* **130**: 245-251.
- MIOSIC, S., K. KNOP, D. HÖLSCHER, J. GREINER, C. GOSCH, J. THILL, M. KAI, B.K. SHRESTHA, B. SCHNEIDER, A.C. CRECELIUS, U.S. SCHUBERT, A. SVATOS, K. STICH & H. HALBWIRTH (2013). 4-deoxyaurone formation in *Bidens ferulifolia* (Jacq.) DC. *PLoS One* **2013**, **8(5)**: e61766.
- MONEDERO, J.M. (2016). *Identificación y caracterización de flavonoides por espectrometría de masas en melazas residuales de un ingenio azucarero*. Tesis de Grado. Universidad ICESI, Cali, Colombia.
- MULDER, A.J., R. VAN AALDEREN & C.H.A VAN LEEUWEN (2021). Tracking temperate fish reveals their relevance for plant seed dispersal. *Funct. Ecol.*, **35(5)**: 1134-1144.
- NAVARRO-PÉREZ, M.L., J. LÓPEZ, M. FERNÁNDEZ-MAZUECOS, T. RODRÍGUEZ-RIAÑO, P. VARGAS & A. ORTEGA-OLIVENCIA (2013). The role of birds and insects in pollination shifts of *Scrophularia* (Scrophulariaceae). *Mol. Phyl. Evol.* **69**: 239-254.

- OJEDA, I., A. SANTOS-GUERRA, R. JAÉN-MOLINA, F. OLIVA-TEJERA, J. CAUJAPÉ-CASSELLS & Q. CRONK (2012). The origin of bird pollination in Macaronesian Lotus (Loteae, Leguminosae). *Molec. Phyl. Evol.* **62**: 306-308.
- OLESEN, J.M. & A. VALIDO (2003). Bird pollination in Madeira island. Polinización por aves en la isla de Madeira. *Ardeola* **50**(1): 67-69.
- OLESEN, J.M. & A. VALIDO (2004). Lizards and birds as generalized pollinators and seed dispersers of island plants. En J.M. FERNÁNDEZ-PALACIOS & C. MORICI (eds.) *Ecología Insular/Island Ecology*: 229-249. Asociación Española de Ecología Terrestre.
- OLLERTON, J., L. CRANMER, R.J. STELZER, S. SULLIVAN & L. CHITTKA (2009). Bird pollination of Canary Island endemic plants. *Naturwissenschaften* **96**: 221-232.
- OPARIN, A.I. (1924). *The origin of life on the Earth*. New York, Academic Press.
- ORELLANA, F. (2020). La luz en la visión y en la oftalmología. En B. VALDÉS (ed.) *La luz: vida, ciencia, progreso*: 95-122. Málaga, Instituto de Academias de Andalucía.
- ORTEGA-OLIVENCIA, A., T. RODRÍGUEZ-RIAÑO, J.L. PÉREZ-BOTE, J. LÓPEZ, C. MAYO, F.J. VALTUEÑA & M. NAVARRO-PÉREZ (2012). Insects, birds and lizards as pollinators in the largest-flowered Scrophularia of Europe and Macaronesia. *Ann. Bot.* **109**: 153-167.
- ORTEGA-OLIVENCIA, A., T. RODRÍGUEZ-RIAÑO, F.J. VALTUEÑA, J. LÓPEZ & J.A. DEVESA (2005). First confirmation of a native bird-pollinated plant in Europe. *Oikos* **110**: 578-5090.
- PÉREZ-MELLADO, V. & J.L. CASAS (1997). Pollination by a lizard on a Mediterranean island. *Copeia* **1997**(3): 593-595.
- REY (2001). Geographical variation in autonomous self-pollination levels unrelated to pollination service in *Helleborus foetidus* (Ranunculaceae). *Am. J.Bot.* **88**: 1025-1032.
- RINDI, F. (2011). Terrestrial Green algae: systematics, biogeography and expected responses to climate changes. En T. R. HODKINSON, M. B. JONES, S. WALDREN & J.A. PARNELL (eds.). *Climate change, ecology and systematics*: 201-227. Cambridge University Press.
- RODRÍGUEZ-RODRÍGUEZ, M.C., P. JORNANO & A. VALIDO (2015). Hotspots of damage by antagonists shape the spatial structure of plant-pollinator interactions. *Ecology* **96**: 2181-2191.
- RODRÍGUEZ-RODRÍGUEZ, M.C. & A. VALIDO (2008). Opportunistic nectar-feeding birds are effective pollinators of bird-flowers from Canary Islands: experimental evidence from *Isoplexis canariensis* (Scrophulariaceae). *Amer. J. Bot.* **95**(11): 1408-1415.
- SÁEZ, E. & A. TRAVESET (1995). Fruit and nectar feeding by *Podarcis lilfordi* (Lacertidae) on Cabrera archipelago (Balearic Islands). *Herpetol. Rev.* **26**(3): 121-123.
- SALVADOR, A. (2015). Lagartija balear – *Podarcis lilfordi* (Günther, 1874). En A. SALVADOR & A. MARIO (eds.) *Enciclopedia virtual de los vertebrados españoles*. Madrid, Museo Nacional de Ciencias Naturales. <http://www.vertebradosibericos.org> (consultada el 30.8.2021).
- SASAKI, N., & T. TAKAHASHI (2002). A flavonoid from Brassica rapa flower as the UV-absorbing nectar guide. *Phytochemistry* **61**(3): 339-343. Doi: 10.1016/s0031-9422(02)00237-6.
- SCHOPF, J. (2006) Fossil evidence of Archaean life. *Philos. Trans. Royal Soc. London, B, Biol. Sci.* 361: 869-885.
- SERRA, L., C. FABREGAT, J.E. OLTRA, E. LAGUNA, J. BENITO, E. MARTÍ & J. CATALÁ (2019). *Guía de las orquídeas de la Comunitat valenciana*. Valencia, Gráficas Azorín.
- SHANKER, N., O. DILEK, K. MUKHERJEE, D.W. MCGEE & S.L. BANE (2017). Aurones: Small molecule visible range fluorescent probes suitable for biomacromolecules. *J. Fluoresc.* **21**(6): 2173-2184.
- STÖKL, J., R. TWEDE, D.H. ERDMANN, W. FRANCKE & M. AYASSE (2007). Comparison of the flower scent of the sexually deceptive orchid *Ophrys iricolor* and the female sex pheromone of its pollinator *Andrena morio*. *Chemoecology* **17**(4): 231-233.
- SUN, J., B. BHUSHAN & J. TONG (2013). Structural coloration in nature. *Royal Soc. Chem. Adv. J.* **3**: 14862-14889.

- TEOFRASTO (1988). *Historia de las plantas*. Traducción española de J. M. DÍAZ-REGAÑÓN. Madrid, Editorial Gredos.
- THOMPSON, W.R., J. MEINWALD, D. ANESHANSLEY & T. EISNER (1972). Flavonols: Pigments responsible for ultraviolet absorption in nectar guide of flower. *Science* **177**: 528-530.
- TRAVERSE, A. & M. NOGALES (2015). Mutualismos entre plantas y animales en las islas. *Investigación y Ciencia*, mayo **2015**: 24-33.
- TRAVERSE, A. & E. SÁEZ (1997). Pollination of *Euphorbia dendroides* by lizards and insects: Spatio-temporal variation in patterns of flower visitation. *Oecologia* **111**: 241-248.
- TRUET, A.J., G. CANGUILHEM, J. CUCURULL, F. CID, R. ESPASA & A. LABARTA (1977). *Historia de la Ciencia. I, Antigüedad y Edad Media*. Barcelona, Editorial Planeta.
- TUOMINEN, A., J. SINKKONEN, M. KARONEN & J.-P. SALMINEN (2015). Sylytiins, acetylglucosylated hydrolysable tannins from the petals of *Geranium sylvaticum* show co-pigment effect. *Phytochemistry* **115**: 239-251.
- VACEK, J., B. KLEJDUS, L. LOIKOVA & V. KUBÁN (2008). Current trends in isolation, separation, determination and identification of isoflavones: A review. *J. Separ. Sci.* **31(11)**: 2054-2067.
- VALDÉS, B. (1970). Flavonoid pigments in flower and leaf of the genus *Linaria* (Scrophulariaceae). *Phytochemistry* **9**: 1253-1260.
- VALDÉS, B. (1980). Sinopsis de los vegetales. En R. ALVARADO (ed.) *Historia Natural. Botánica*: 94-289. Barcelona, Carroggio S. A de Ediciones
- VALDÉS, B. (2008). *Concepto de la Botánica. Consideraciones sobre los Reinos*. Sevilla, Secretariado de Publicaciones.
- VALIDO, A. (1999) *Ecología de la dispersión de semillas por los lagartos endémicos canarios (g. Gallotia, Lacertidae)*. Tesis Doctoral. Universidad de La Laguna.
- VALIDO, A., Y.L. DUPOND & D.M. HANSEN (2002). Native birds and insects, and introduced honey bees visiting *Echium wildpretii* (Boraginaceae) in the Canary Islands. *Acta Oecologica* **23(6)**: 413-419. DOI:10.1016/S1146-609X(02)01167-
- VALIDO, A., Y.-L. DUPOND & J.M. OLESEN (2004). Bird-flower interactions in the Macaronesian islands. *J. Biogeogr.* **31**: 1945-1953.
- VALIDO, A. & M. NOGALES (1994). Frugivory and seed dispersal by the lizard *Gallotia galloti* (Lacertidae) in a xeric habitat of the Canary Islands. *Oikos* **70**: 403-411.
- VALIDO, A., M.C. RODRÍGUEZ-RODRÍGUEZ & P. JORDANO (2011). Interacciones entre plantas y polinizadores en el Parque Nacional del Teide: Consecuencias ecológicas de la introducción masiva de la abeja doméstica (*Apis mellifera*, Apidae). En L. RAMÍREZ SANZ & B. ASENSIO NISTAL (eds.) *Proyectos de investigación en Parques Nacionales, 2007-2010*: 205-231. Madrid, Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades.
- VALTUEÑA, F.J., A. ORTEGA-OLIVENCIA, T. RODRÍGUEZ-RIAÑO & L. LÓPEZ (2010). Causes of low fruit and seed set in bird-pollinated *Anagyris foetida* (Leguminosae): Pollen limitation and other extrinsic factors. *Folia Geobot.* **45**: 77-94.
- VIGNOLINI, S., T. GREGORY, M. KOLLE, A. LETHBRIDGE, E. MOYROUD, U. STEINER, B.J. GLOVER, P. VUKUSIC & P.J. RUDALL (2016). Structural colour from helicoidal cell-wall architecture in fruits of *Margaritaria nobilis*. *J. R. Soc. Interface* **13**: 20160645, <http://dx.doi.org/10.1098/rsif.2016.0645>.
- VIGNOLINI, S., E. MOYROUD, T. HINGANT, H. BANKS, P.J. RUDALL, U. STEINER & B.J. GLOVER (2014). The flower of *Hibiscus trionum* is both visible and measurably iridescent. *New Phytol.* **295**: 97-101.
- VIGNOLINI, S., P.J. RUDALL, A.V. ROWLAND, A. REED, E. MOYROUD, R.B. FADEN, J.J. BAUMBERG, B.J. GLOVER & U. STEINER (2012). Pointillist structural color in *Polinia* fruit. *PROC. NAT. ACAD. SCI.* **109(39)**: 15712-15715.
- WALTER, M.R., R. BUIK & J.S.R. DUNLOP (1980). Stromatolites 3,400-3,500 Myr old from the North Pole area, Western Australia. *Nature* **284**: 443-445.

- WHITNEY, H.M., M. KOLLE, R. ÁLVAREZ-FERNÁNDEZ, U. STEINER & B.J. GLOVER (2009a). Contribution of iridescence to floral patterning. *Comm. & Integr. Biol.* **2(3)**: 230-231.
- WHITNEY, H.M., M. KOLLE, P. ANDREW, L. CHITTKA, U. STEINER & B.J. GLOVER (2009b). Floral iridescence, produced by diffractive optics, acts as a cue for animal pollinators. *Science* **323**: 130-133.
- WHITTAKER, R.H. & L. MARGULIS (1978). Protist classification and the kingdoms of organisms. *Biosyst.* **10**: 3-18.
- WILLOWS, R.D. (2020). Biosynthesis of Chlorophyll and bilins in Algae. En A.W.D. LAKRUM, A.R. GROSSMANN & J.A. RAVEN (eds.). *Photosynthesis in Algae: Biochemical and Physiological mechanisms. Ad. Photos. Resp.* **45**: 83-103.
- ZHAO, D. & J. TAO (2015). Recent advances on the development and regulation of flower color in ornamental plants. *Front. Pl. Sci.*, Art. 261. Doi:10.3389/fpls.2015.00261.
- ZUITER, A.S. & J. ZARGA (2014). Proanthocyanidins: chemistry and biology: From phenolic compounds to Protoanthocyanidins. En J. REEDIJK (ed.) *Reference Module in Chemistry, Molecular Sciences and Chemical Engineering*: 1-19. Amsterdam, Elsevier.
- ZWERGEL, C., F. GAASCHT, S. VALENTE, M. DIEDERICH, D. BAGREL & G. KIRSH (2012). Aurones: interesting natural and synthetic compounds with emerging biological potential. *Nat. Prod. Commun.* **7(3)**: 289-394.

CONFERENCIAS

ALGUNAS CONSIDERACIONES HISTÓRICAS SOBRE LA(S) NANOCIENCIA(S), LA(S) NANOTECNOLOGÍAS Y LA NANOANALITYC (NANOANALÍTICA)

*Conferencia pronunciada por el
profesor Agustín G. Asuero,
dentro del ciclo “Historia y Filosofía
de la Ciencia y de la Técnica”,
el día 3 de mayo de 2021.*

RESUMEN

Esta contribución se centra en variados aspectos de la nanociencia y nanotecnología. Se inicia mencionando a Richard Feynman, físico teórico, considerado padre promotor del área, y de Eric Drexler profeta de la revolución nanotecnológica, uno de los fundadores del “Foresight Institute”. Se hace un breve recorrido por el trasfondo circundante, las herramientas nanotecnológicas, la historia previa de la nanotecnología y la clasificación de los nanomateriales según origen, dimensión y categorías. La definición de nanociencia y de nanotecnologías, junto con las aproximaciones “top-down” y “bottom-up”, las aplicaciones prácticas, y la convergencia con otras disciplinas concurrentes son objeto de consideración y breve análisis. También se pasa revista al encapsulamiento de fármacos, en particular a los liposomas y dendrímeros. Se analiza el informe Nanotecnología-Biotecnología-Tecnología de la Información-Ciencia Cognitiva (NBIC) de la “National Science Foundation” y la Iniciativa Nacional USA de Nanotecnología, y se concluye con unos comentarios finales en torno a la nanoanalítica. Se tiene en cuenta a o largo del recorrido para cada una de estas secciones consideraciones de carácter histórico.

INTRODUCCIÓN

En todas las áreas la(s) nanociencia(s) y nanotecnología(s) crecen de forma rápida adquiriendo importancia al ofrecer mejoras significativas a la salud, plantear oportunidades de negocio e incrementar notablemente los estándares de vida y bienestar humanos (Académie de Sciences, 2008; Alixandre-Tudo et al., 2020; Asuero, 2021; Braggazzi, 2019; Roco, 2018; Zibareva, 2015). Se aplican en campos tan diversos como el tratamiento de aguas residuales, la industria textil, las baterías de alto rendimiento, la

biología y la medicina, e.g. terapia del cáncer, diagnóstico por imágenes de enfermedades, ingeniería de tejidos y, administración de fármacos y génica. El uso beneficioso de nanomateriales se hace patente en protectores solares, cosméticos, artículos deportivos, neumáticos, electrónica y variados productos de uso diario. En esta contribución vamos a afrontar algunas consideraciones históricas sobre la(s) nanociencia(s), la(s) nanotecnología(s) y la nanoanalítica. Como puntos de referencia para tener en cuenta se encuentran la conferencia de Feynman sobre la existencia de espacio descendiendo en la escala de tamaño, los aspectos consiguientes centrados en la instrumentación y la correspondiente miniaturización de los dispositivos electrónicos implicados. La historia previa de la nanotecnología, clasificación de los nanomateriales, aproximaciones “top-down” y “bottom-up”, encapsulación de fármacos, aspectos convergentes de las disciplinas que abarca, iniciativa USA nacional de nanotecnología y consideraciones en torno a la química analítica y la nanotecnología, serán objeto de atención y tratamiento.

RICHARD FEYNMAN: FÍSICO TEÓRICO Y PADRE FUNDADOR DE LA NANOTECNOLOGÍA

“Los principios de la física, por lo que puedo ver, no hablan en contra de la posibilidad de maniobrar cosas átomo por átomo” indicaba Richard Phillips Feynman (1918-1988) (Figs. 1 y 2) en el discurso pronunciado tras la cena con motivo del “American Physical Society Winter Meeting of the West” celebrado en Pasadena, Instituto de Tecnología de California (Caltech) el 29 de diciembre de 1959. Feynman, a sus 41 años, anuncia las posibilidades que se abren a la investigación biológica, tecnología de la información, fabricación, ingeniería y otros campos, concluyendo con la proclama de dos premios que financia personalmente dirigidos a la miniaturización del contenido (página) de un libro, i.e. inscripción en una superficie 25000 veces más pequeña que la estándar (la Enciclopedia Británica cabría en la cabeza de un alfiler), y a la construcción de un motor eléctrico de tan sólo 1/64 de pulgada cúbica.

Feynman había sido invitado por el Comité Organizador a pronunciar la charla, para la cual no había limitación temática, ya que las intervenciones “after-dinner” eran informales (Junk y Riess, 2006, p.827), solo seis semanas antes del evento. Como brillante, excelente y fascinante orador supo entretener y cautivar a la audiencia. La transcripción de su charla se imprime por primera vez (Feynman, 1960) en la edición de febrero de 1960 de la Revista de Ingeniería y Ciencia de “Caltech” (Fig. 3).

La perspectiva de Feynman es similar (Laszlo, 2004) a la concebida por el francés Jules Gabriel Verne (1828-1905), escritor, poeta y dramaturgo, promotor de la literatura de ciencia ficción moderna, ya que dirige su atención sobre los últimos avances científicos y técnicos para extrapolar a lo que el futuro podría procurar en su caso. Poco después, el 12 de noviembre de 1960, y para sorpresa de Feynman, William Howard Mc Lelland (1924-2011), ingeniero eléctrico americano graduado en el Caltech, construyó a mano (Ball, 2009, p. 59; Ozin et al., 2005, p. 3011), en dos meses y medio, un motor de ese tamaño minúsculo usando unas pinzas y un microscopio óptico. El motor de 0,5

FIGURA 1
RICHARD PHILLIPS FEYNMAN (1918-1988)
https://es.wikipedia.org/wiki/Archivo:Richard_Feynman_1959.png

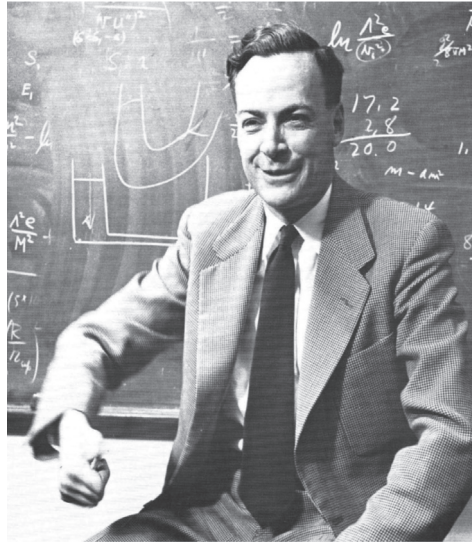


FIGURA 2
ALGUNAS DE LAS OBRAS DE RICHARD FEYNMAN

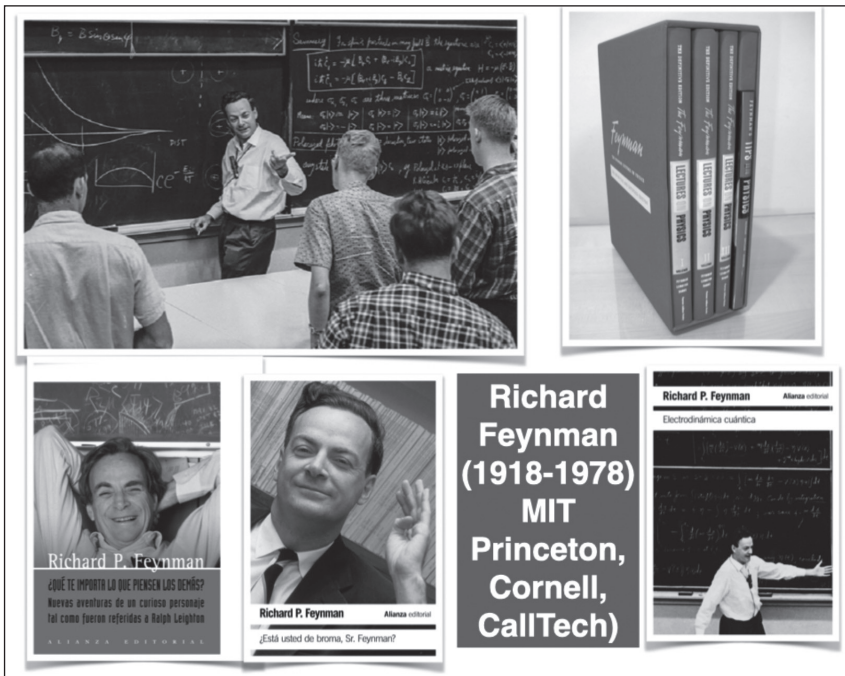
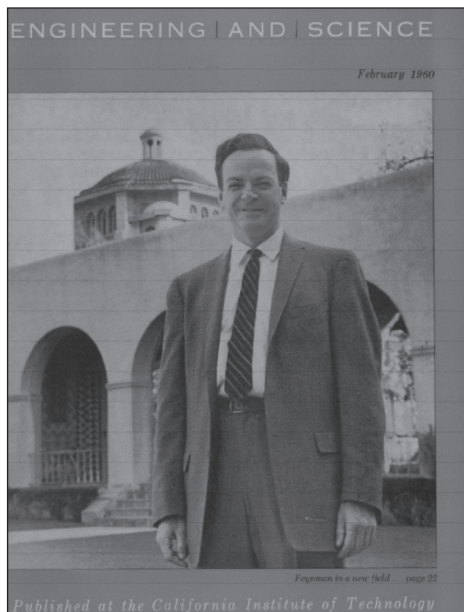


FIGURA 3
PORTADA DE “ENGINEERING AND SCIENCE” FEBRERO DE 1960
<https://calteches.library.caltech.edu/47/3/ES.23.5.1960.0.pdf>



mm de largo, 250 μg de peso y 2000 rpm constaba de 13 piezas. “It could be employed to run the merry-go-round for a flea circus” (Pasadena Museum of History, 2017).

El motor se encuentra actualmente en un expositor en los pasillos de Caltech (sus bobinas se quemaron tiempo ha). De hecho, McLellan fabricó diez de ellos, con herramientas rudimentarias que incluían palillos de dientes y pinceles. El logro del otro desafío requirió más tiempo, y fue reclamado en 1985 por Tom Newman, estudiante de postgrado de la Universidad de Stanford, tres años antes de fallecer Feynman de cáncer. Newman escribió la primera página de “Historia de dos Ciudades” de Charles John Huffman Dickens (1812-1870) en la cabeza de un alfiler usando litografía de haz de electrones. “Feynman did in a visionary way predict atomic-scale nanofabrication” (Ball, 2009, p. 59) comenta Cornelis “Cees” Dekker (1959-) de la Universidad Técnica de Delf en los Países Bajos, que ha realizado un trabajo descollante sobre la electrónica de los nanotubos de carbono, biofísica de molécula única y nanobiología. Ahora existen modos más económicos de escribir, incluso más pequeño (Moon et al., 2009). Chad A. Mirkin (1963-), químico y Director del Instituto de Nanotecnología de la Universidad de Northwestern (Evanston, Illinois), e.g. ha utilizado la nanolitografía de lápiz, donde la punta de un microscopio de fuerza atómica se usa como plumilla para escribir con una tinta molecular que luego podría servir como máscara en el grabado químico de la superficie, para inscribir el mismo texto citado anteriormente de la charla de Feynman, en letras de unos 60 nanómetros de diámetro (Ball, 2009)

El discurso de Feynman, “Plenty of room”, se convierte con el tiempo en una piedra de toque referencial para los seguidores de la nanotecnología (Albe, 2018; Ball, 2021; Editorial, 2009; Junk y Riess, 2006; Peterson, 2004; Toumey, 2005; Toumey, 2009). Se acude así de forma retrospectiva a disponer de un mito fundacional acreditado al que recurrir. En los 20 primeros años transcurridos tras su publicación solo es citado (Toumey, 2008; Toumey, 2019) unas siete veces. En la actualidad, si contamos la impresión y reimpressiones, supera las 5000 citas en “Google Scholar”, habiendo llegado a convertirse en una de las lecturas clásicas del siglo XX. El discurso forma parte pues de la liturgia fundacional de la comunidad nanotecnológica, que identifica a Feynman como su padre espiritual. Richard Anthony Lewis Jones (1961-), Profesor de Física de los Materiales e Innovación Científica en la Universidad de Manchester (desde 2020) comenta, sin embargo, que “Plenty of room” no fue un acontecimiento clave (Editorial, 2009; Jones, 2009a) en la brillante carrera de Feynman, indicando el acierto en algunas de las cuestiones acometidas y no en otras.

Independientemente de la visión de Feynman surgen en nanotecnología importantes sucesos. Stent, uno de los fundadores de la Biología Molecular, utiliza la palabra prematuridad (Stent, 1972) para aquellos descubrimientos no apreciados en su día, acudiendo a los casos de Michael Polanyi (1891-1976), químico húngaro polivalente, Gregor Johann Mendel (1822-1884), checo, fraile agustino y naturalista, padre de la genética, y Oswald Theodore Avery (1877-1955), médico canadiense. Rolf Landauer (1927-1999), físico germano-norteamericano, de la NASA e IBM, comenzó la tesis con Léon Nicolas Brillouin (1889-1969), físico francés, pero la terminó (Bennet y Fowler, 2009) con Wendell Hinkle Furry (1907-1984), después de que Brillouin dejara Harvard. “He has made major contributions to our understanding of computational and informational limits” (Hey, 1999; Lloyd, 1999; Wright, 2016). Expresa como un colega suyo de IBM, John Swanson, un profesional del ramo, aborda en un artículo crucial (Swanson, 1960) publicado en la revista de IBM casi al mismo tiempo que el de Feynman, la cuestión de “how much memory could be obtained from a given quantity of storage material”, trabajo que quizás no obtuvo en su momento el crédito merecido (Hey, 1999).

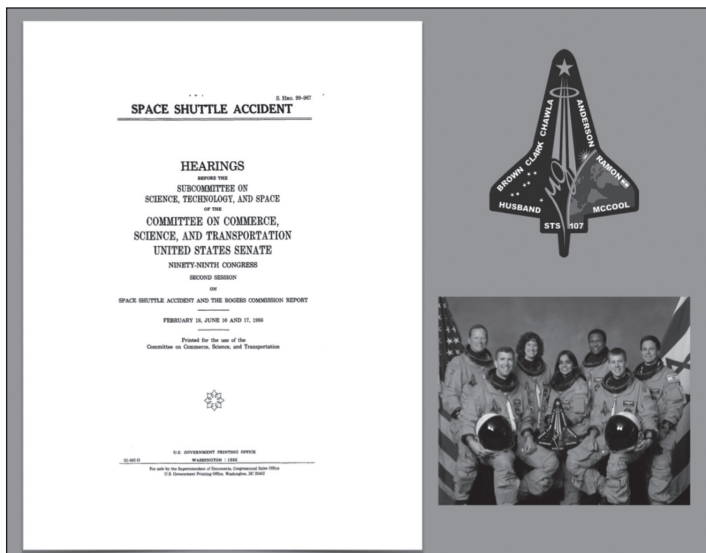
Feynman, participa a los 24 años en el Proyecto Manhattan de fabricación del arma nuclear, gracias a la influencia del físico estadounidense Robert Rathbun Wilson (1914-2000), Premio Nobel en 1978 junto al ruso Pyotr Lenidovich Kapitsa (1894-1984). Su toque de atención sobre los átomos y sus propiedades se encuadra según Bensaude-Vincent y Simon (2019) en el entorno de la Guerra Fría. Un elevado número de investigadores centraba su atención en la física atómica. Feynman sugiere entonces una vía alternativa a la del “complejo militar industrial”; la de utilizar los átomos para construir. Muestra la visión inicial trascendental de la innovadora nanoinvestigación que podía llevarse a cabo, que requería solo disponer de los elementos adecuados.

Feynman (1960) narra una ficción (Wu et al., 2020, p. 8088) acerca de ingerir un “microcirujano” que circula por los vasos sanguíneos del cuerpo humano para realizar una intervención (micro)quirúrgica. Albert Roach Hibbs (1924-2003), discípulo suyo que jugó un papel importante en la confección del programa de exploración espacial no tripulada de los EE.UU, imagina este hecho. La imagen es entresacada de Waldo & Inc

(Heinlein, 1950), una novela de ciencia ficción de Robert Anson Heinlein (1907-1988), ingeniero aeronáutico, que habían leído juntos Feinmann y Hibbs, tres semanas antes de la charla en el Caltech. En dicha novela aparecen máquinas en miniatura capaces de curar enfermedades en un cuerpo infectado. Por extraña que aparente ser la idea (Wu et al., 2020, p. 8089), hoy disponemos de la nanotecnología necesaria como para afrontar esa empresa. Día a día se produce un avance en el desarrollo de micro y de nanorobots.

En 1983 Feynman en “Infinitesimal Machinery” (Feynman, 1993), que se publica a título póstumo diez años más tarde, actualiza “Plenty of room”. Ahí, Feynman se apunta a la “Teoría de los autómatas que se reproducen a sí mismos” proveniente de von Neumann, artífice del primer ordenador personal, que también colaboró en el Proyecto Manhattan. Feynman, uno de los físicos teóricos más importantes y originales (Feynman, n.d.; Feynman, 2020, 2016) del siglo XX, Premio Nobel de Física en 1965, jugó un papel crítico (Fig. 4) en la comisión presidencial (Space Shuttle Accident, 1986) que investigó el accidente del “Challenger”, en el que fallecieron, segundos después de despegar, los siete astronautas de la tripulación.

FIGURA 4
INFORME SOBRE EL ACCIDENTE DEL TRANSBORDADOR ESPACIAL
(INFORME ROGERS) Y ASTRONAUTAS FALLECIDOS



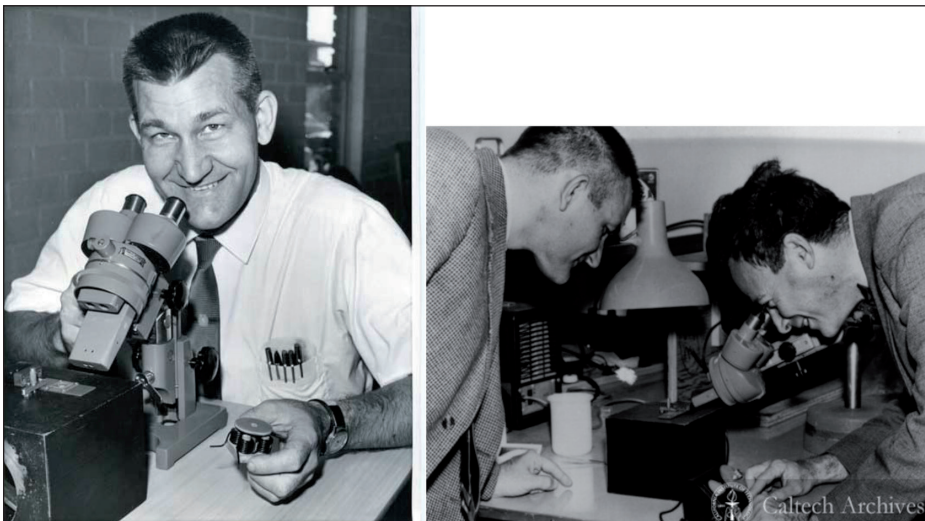
EN TORNO A LOS DOS DESAFÍOS DE FEYNMAN

McLellan empleó dos meses y medio, en su tiempo libre, para construir el motor con herramientas mecánicas de precisión que él mismo había diseñado, incluido un palillo metálico afilado, y un torno de relojero. No fueron necesarias nuevas herramientas ni

técnicas. Del tamaño de una mota de arena, se montaba bajo un microscopio (Fig. 5) para poder ver las partes individuales. El original, una copia de demostración y material de archivo han sido donados a la colección permanente del “Pasadena Museum of History” (2017) por el Patrimonio de William McLellan. Otras copias se hallan en las colecciones de “Caltech”, el “Smithsonian” y el Museo de Ciencias de Londres.

En 1985, Tom Newman estaba concluyendo su tesis, que implicaba hacer celosías muy pequeñas para observar efectos cuánticos (Kornei, 2016). Un estudiante del grupo Ken Polasko lee “Hay mucho espacio en la parte inferior” y le sugiere que aborde el reto propuesto por Feynman. El laboratorio de Ingeniería Electrónica estaba dotado de la óptica necesaria para imprimir en alta resolución. Y su asesor, Roger Fabian Wedgwood Pease (1936-), era un apasionado de la litografía. En su ausencia encuentra la forma de hacerlo y a su vuelta, ambos imprimen en un cuadrado de 200×200 micrones de poli(metacrilato de metilo) la primera página de “A Tale of Two Cities”: “It was the best of times, it was the worst of times...”. El texto ocupaba menos de seis micrones de lado, lo que dificultaba su localización. Newman (Fig.6) recibe una carta de felicitación del físico y un cheque de 1000 \$, con el que adquiere un Macintosh.

FIGURA 5
WILLIAM MAC LELLAN Y FEINMANN INSPECCIONAN EL MOTOR
(COLECCIÓN WILLIAM MAC LELLAN Y ARCHIVOS DE CALTECH)




ERIC DREXLER: EL PROFETA DE LA REVOLUCIÓN NANOTECNOLÓGICA

Las predicciones futuristas de Feynman de máquinas y sistemas de información en miniatura se trasladan al gran público por Kim Eric Drexler (1955-) (Fig. 7), Licenciado en Ciencias Interdisciplinarias y Magister en Ingeniería Astro/ Aeroespacial

FIGURA 6

NOTA DE PRENSA: TOM NEWMAN GANADOR DEL SEGUNDO PREMIO DE FEYNMANN

4 Part 11/Wednesday, July 30, 1986



Los Angeles Times
A Times Mirror Newspaper

Small Wonder

In the Middle Ages scholars wondered how many angels would fit on the head of a pin. This puzzle was never satisfactorily answered. But as the result of a recent technological advance at Stanford University we now know that the entire Encyclopaedia Britannica would comfortably fit there.

In 1960 Richard Feynman, the Caltech physicist, offered a \$1,000 prize to anyone who could make a printed page 25,000 times smaller while still allowing it to be read. A Stanford graduate student, Tom Newman, has now done it, and Feynman has paid him the grand.

Newman's technique is based on the same technology that is used to imprint electronic circuits on those tiny computer chips that are everywhere. Newman uses several electron beams to trace letters made up of dots that are 60 atoms wide. The resulting text can be read with an electron microscope.

Some technological advances bring instant rewards to humanity, while some have no practical use—at least for the moment. They are just amazing. In the latter category, chalk one up for Tom Newman, with an assist from Richard Feynman.

FIGURA 7

KIM ERIC DREXLER (1958-) INGENIERO ESTADOUNIDENSE

<https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Drexler763x1000.jpg>



por el Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT). Drexler (1991) presenta su Tesis Doctoral “Molecular Machinery and Manufacturing with Applications to Computation” en 1991. Drexler se había autoproclamado en 1986 profeta de la revolución nanotecnológica (Voss, 1999) en su famoso libro “Motores de la creación: la era venidera de la nanotecnología” presentando a Feynman como el padre fundador (Drexler, 2004;

Drexler, 2005) de la nueva era. Drexler “has had tremendous effect on the field through his books” (Drexler, 1986; Drexler 1992a; Drexler, 2013; Drexler et al., 1991; Milburn, 2002, p. 280; Milburn, 2008, p. 40). “Engines of Creation” es prologada por Marvin Lee Minsky (1927-2016), su supervisor de Tesis, uno de los padres de la inteligencia artificial, amigo personal de Feynman, cofundador del laboratorio de inteligencia artificial del MIT. En 2007 se lanzó una versión actualizada de la obra traducida al japonés, francés, español, italiano, ruso y chino.

La nanotecnología se populariza en la década de 1990 con una oleada de novelas de ciencia ficción (Catellin, 2009; López, 2004) sobre nanotecnología, y especialmente con el “bestseller” de Michael Crichton, “Prey”, publicado en 2002. La novela de Crichton produjo una temerosa reacción tecnofóbica a la nanotecnología causando perjuicio a la postura del propio Drexler. En el período de 1986 a 2004 la nanotecnología está presente en unas 200 novelas anglosajonas de ciencia ficción. Crichton, médico de formación, escritor, guionista, director y productor de cine, es introductor del género narrativo “techno-thriller”, y abanderado contra la politización de la ciencia. Es también autor de Parque Jurásico, adaptada al cine en 1993 por Steven Allan Spielberg (1946-). Crichton es el único en USA que reúne al mismo tiempo el libro más vendido -Acoso-, la película más taquillera -Parque Jurásico-, y la serie de televisión de mayor audiencia -ER-.

El elevado impacto de “Engines of Creation” contribuye grandemente a hacer visible a la nanociencia y a la nanotecnología. Para Drexler (al igual que para Feynman) el almacenamiento de información, en concreto, podría adoptar como modelo “el ejemplo biológico de escritura de la información a pequeña escala de la molécula de ADN” y auspicia que la nanotecnología “traerá cambios tan profundos como la revolución industrial, los antibióticos y las armas nucleares juntos”. Drexler publica (Fig. 8) además una obra reputada “Maquinaria de nanosistemas: fabricación molecular y computación”, (en esencia su Tesis Doctoral), Premio de la Asociación de Editores americanos como el mejor libro de ciencia de 1992; y ese mismo año con Christine Peterson y Gayle Pergamit “Desgranando el futuro: la revolución de la nanotecnología”. Y en 2013 “Abundancia radical: como una revolución en nanotecnología cambiará la civilización”.

Drexler desarrolla el concepto de enjambres de nanomáquinas que realizan diversas tareas y son capaces de reproducirse. A principios de los 2000 esta imagen es identificada con frecuencia por la prensa como un símbolo de “nano”. En la década de 1960, en la novela de ciencia ficción “El Invencible”, Stanislas Lem (1921-2006), polaco, ya había ideado enjambres destructivos de diminutos robots (Laurent y Villain, 2011). “Ray Bradbury, Isaac Asimov, J. G. Ballard, Ursula K. Le Guin, Philip K. Dick y Stanislaw Lem imaginaron un futuro de pandemias, distancia social y redefinición del ser humano” (El País, 2020).

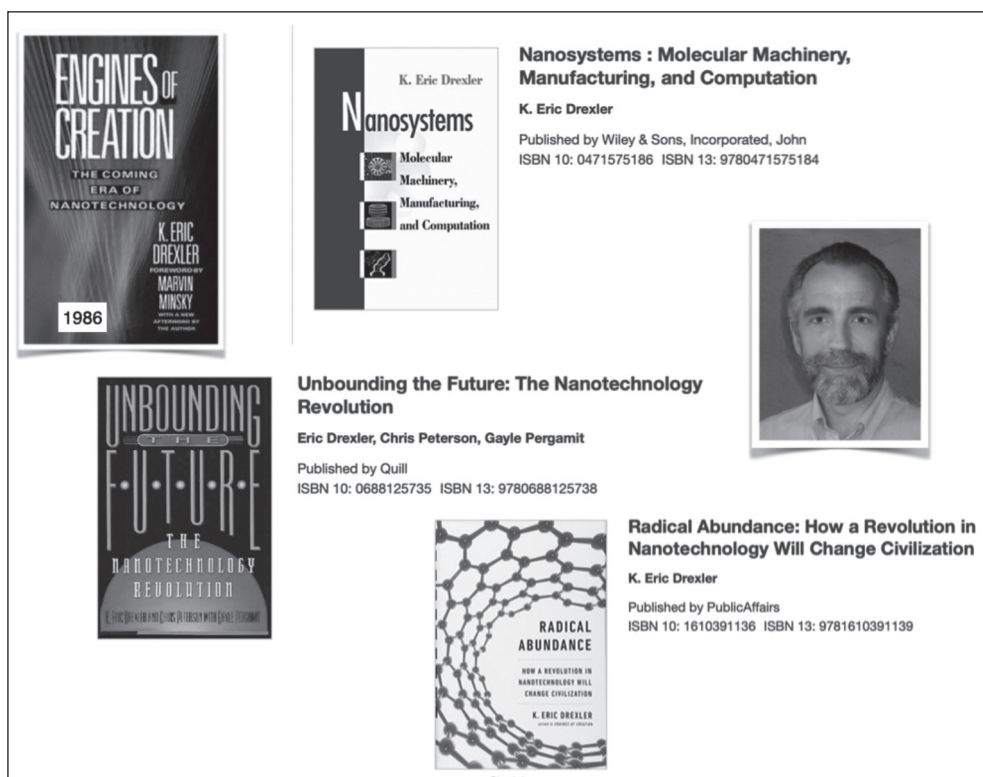
EL FORESIGHT INSTITUTE

El “Foresight Institute” (Fig. 9) de Palo Alto (CA) es una organización sin ánimo de lucro (Foresight Institute, 2016). Su fundación, en 1986, corre a cargo de Christine

Peterson, analista económica, Drexler y James Charles Bennet, hombre de negocios con formación tecnológica y de consultoría. El Instituto financia con carácter anual desde 1993 el Premio Feynman con objeto de primar avances destacados en el ámbito emergente de la nanotecnología molecular. El Instituto se funda para “to guide emerging technologies to improve the human condition”.

Además de la nanotecnología, “the coming ability to build materials and products with atomic precision”, el “Foresight Institute” tiene entre sus objetivos la promoción del desarrollo y la educación en las áreas de inteligencia artificial, biotecnología y otros campos investigadores. A Peterson, esposa de Drexler durante 21 años (su matrimonio concluyó en 2002), Licenciada en Química por el MIT se le imputa la recomendación de la expresión “código abierto” en relación con el software. Drexler se volvió a casar en 2006 con Rosa Wang, exbanquera que trabaja con Ashoka (empresa innovadora para el público en la mejora de los mercados de capital social), y viven en Oxdord, Reino Unido, donde es Profesor Visitante de visitante de la Universidad, consultor y conferenciante.

FIGURA 8
LIBROS PUBLICADOS POR ERIC DREXLER



ENGINES OF CREATION
THE COMING ERA OF NANOTECHNOLOGY
K. ERIC DREXLER
FOREWORD BY MARVIN MINSKY
1986

Nanosystems
K. Eric Drexler
Molecular Machinery, Manufacturing, and Computation


Nanosystems : Molecular Machinery, Manufacturing, and Computation
K. Eric Drexler
Published by Wiley & Sons, Incorporated, John
ISBN 10: 0471575186 ISBN 13: 9780471575184

UNBOUNDING THE FUTURE
THE NANOTECHNOLOGY REVOLUTION
K. ERIC DREXLER AND CHRIS PETERSON WITH GAYLE PERGAMIT

Unbounding the Future: The Nanotechnology Revolution
Eric Drexler, Chris Peterson, Gayle Pergamit
Published by Quill
ISBN 10: 0688125735 ISBN 13: 9780688125738

RADICAL ABUNDANCE
HOW A REVOLUTION IN NANOTECHNOLOGY WILL CHANGE CIVILIZATION
K. ERIC DREXLER

Radical Abundance: How a Revolution in Nanotechnology Will Change Civilization
K. Eric Drexler
Published by PublicAffairs
ISBN 10: 1610391136 ISBN 13: 9781610391139



El primer “meeting” del Foresigh se celebró en octubre de 1989 y atrajo a unos 150 participantes. En la cuarta Conferencia sobre Nanotecnología Molecular organizada por el Instituto Foresight en 1995, el almirante David Elmer Jeremiah (1934-2013), retirado de la Armada Naval de los Estados Unidos, antiguo Vicepresidente de la Junta de Jefes del Estado Mayor Conjunto, impartió una conferencia sobre “Nanotecnología y Seguridad Global” (Altmann, 2004, p. 8). En 1999 el orador estelar fue Steven Chu (1948-), físico de la Universidad de Stanford y ganador del Premio Nobel de 1997 por su trabajo sobre la manipulación de átomos, interviniendo además en las secciones técnicas algunos de los nombres más prestigiosos de la química, la biofísica y la ciencia de los materiales. De los 300 asistentes, unos 40 pertenecían a grupos de investigación corporativos y más de 120 a laboratorios académicos o gubernamentales. Incluso la “National Science Foundation” patrocinó uno de los foros.

FIGURA 9
ANAGRAMA DEL FORESIGHT INSTITUTE



El Instituto y el premio han contribuido (Marcovich y Shinn, 2016, p. 60) a fomentar la fiebre del oro de la “nano”. En los inicios, antes de que la nanotecnología formara parte de la agenda oficial, el Instituto promovió tanto el concepto como la investigación concreta en la materia. Hace que se conozca la palabra “nano” cuando poca gente había oído hablar de ella. Al otorgar premios destinados a incentivar resultados descolantes incrementa la visibilidad de la nanociencia y de los científicos. La materia va adquiriendo así carta de nobleza. La selección para los premios de dominios específicos de la investigación afectó de forma progresiva a los temas y a las herramientas analíticas, favoreciendo el surgimiento y la posterior evolución de los tópicos de investigación. Pueden destacarse cuatro direcciones: “1) biology-related work; 2) the themes of single molecules; 3) control and switching; and 4) metrological and simulation instrumentation”. Los laureados de estos Premios se han consolidado como líderes de la diversidad de dominios que comprende la investigación en nanociencia.

FICCIÓN O REALIDAD: LA POLÉMICA ESTÁ SERVIDA

Algunas de las percepciones de Drexler fueron tildadas de utópicas y cuestionables por parte de los físicos y de los químicos (Bensaude-Vincent, 2004; Bensaude-Vincent, 2008), en ciertos casos de una forma neutral (e.g. Whitesides) y en otros con belige-

rancia, a pesar de que Minsky había insistido (Hessenbruch, 2004, p. 135) en que la perspectiva de Drexler no era ilusoria, sino sustentada en unas recientes y sólidas bases científicas y técnicas. Es famoso el litigio (Fig. 10) con Richard Errett Smalley (1943-2005), Premio Nobel de Química en 1996, publicado en el “Chemical & Engineering News” (Baum, 2003; Broadhead y Howard, 2011; Bueno, 2004; Kaplan y Radin, 2011), y que fue portada de la revista dada la repercusión de su alcance.

La ciencia ficción (Milburn, 2002; Hessenbruch, 2004, p. 141; Nanora, 2014; Thurs, 2007) muestra en muchos casos su capacidad para advertir y anunciar notables acontecimientos en tecnología que no parecían posibles en su momento. El avance científico se alcanza a través de postulados y supuestos que, hasta que se confirman, forman parte del ámbito de la ficción. Drexler (1981) es autor del primer trabajo científico sobre nanotecnología, citado en “Nature” por Carl Pabo (1983) y en “Science” por William F. de Grado et al. (1989). Es asimismo autor del primer libro de Nanotecnología en 1986. Y también autor de la primera tesis doctoral sobre la materia en 1991, año en el que Ivan Amato, editor de “Science News” se refiere a él en un trabajo en “Science” como “el apóstol de la nanotecnología” (Amato, 1991; Matteucci et al., 2018).

Aunque el campo aún se encuentra en ciernes, el autoensamblaje de moléculas biológicas (Bensaude-Vincent 2009b; Bensaude-Vincent, 2016; Duan et al., 2015; Herges, 2020; Lehn, 2002; Moses y Chirikjian, 2020; Notman, 2021; Ozin, 2009; Zhang, 2003; Wu et al., 2020) presagia materiales, dispositivos y tecnologías cuyo alcance supera nuestro conocimiento presente. Ray Kurzweil (1948-) especialista en ciencias de la computación e inteligencia artificial por el MIT, impulsor de la Universidad de la Singularidad en “Silicon Valley”, Director de Ingeniería en Google desde 2012, dedica cuatro páginas de su libro “The Singularity is Near” (Kurzweil, 2005) a cuestionar los argumentos de Smalley, concluyendo la practicabilidad de las posturas de Drexler.

Si la naturaleza utiliza ensambladores moleculares para síntesis, los químicos deben (al menos de entrada) acceder a edificar y manipular ensambladores artificiales en el laboratorio. El economista británico Kenneth E. Boulding (1910-1993), presidente de la “American Economic Association” y de la “American Association for the Advancement of Sciences” ha dicho (Boulding, 1972) “if something exists, then it must be possible”. Esta filosofía es preconizada por Jean-Marie Lehn (1939-), químico francés, Premio Nobel en 1987: “si existe, puede ser sintetizado” (Herges, 2020, p. 9049; Ozin et al., 2005, p. 3018; Ozin et al., 2008, p. 431). Análogos principios de la química e idénticas leyes físicas son seguidos por las reacciones bioquímicas y químicas, por lo que aparentemente estamos en condiciones de suponer la no existencia de problema fundamental al respecto. “The structures and mechanisms of cell biology present compelling proof from their existence that sophisticated, highly functional nano-scale devices are possible: cell biology is indeed nanotechnology that works” (Jones, 2009b). “It is one of the major motivations of the chemists to see how they can express in biology successfully made highly complex properties on a molecular basis” (Bensaude-Vincent, 2016, p. 4/13; Whitesides, 2015a). Jones (2004) comenta “As I’ve made clear in many places I doubt that Drexler’s vision of nanotechnology will come to pass...Even if Drexler is wrong, nanotechnology will have far-reaching impacts”.

Para George McClelland Whitesides (1939-), pionero (Weiss, 2007) en “soft lithography”: “The more interesting question is whether there will there be revolutionary nanotechnologies, based on fundamentally new science, with products that we cannot presently imagine” (Whitesides, 2005, p. 173). La Química debe reorganizarse para tratar de resolver problemas importantes y reconocibles a la sociedad (e.g. Hennion, 2010) especialmente en los campos del agua, alimentación, salud, energía y medio ambiente (Whitesides, 2015b; Whitesides y Deutch, 2011). Muchas agencias nacionales y transnacionales están destinando sus fondos a desafíos sociales: economía de energía sostenible, cambio climático o envejecimiento de la población (Jones, 2011).

FIGURA 10
DEBATE ENTRE ERIC DREXLER Y RICHARD SMALLEY EN TORNO
A LA NANOTECNOLOGÍA

HYLE—International Journal for Philosophy of Chemistry, Vol. 10, No. 2 (2004), pp. 83-98.

COVER STORY
December 1, 2003
 Volume 81, Number 48
 CENEAR 81 48 pp. 37-42
 ISSN 0009-2347

POINT ↔ COUNTERPOINT
NANOTECHNOLOGY
 Drexler and Smalley make the case for and against 'molecular assemblers'

RUDY BAUM

PHOTO BY RUDY BAUM PHOTO BY LINDA CICERO

OPEN DEBATE Rice University's Smalley (left) takes issue with mechanosynthesis and molecular manufacturing as set forth by Foresight Institute's Drexler.

The Drexler-Smalley Debate on Nanotechnology: Incommensurability at Work?
 Otávio Bueno*

Bounding an emerging technology: Para-scientific media and the Drexler-Smalley debate about nanotechnology

Sarah Kaplan
 Rotman School, University of Toronto, Toronto, ON, Canada

Joanna Radin
 History and Sociology of Science, University of Pennsylvania, Philadelphia, PA, USA

George McClelland Whitesides (1939-), químico, uno de los padres del autoensamblaje molecular

https://es.wikipedia.org/wiki/George_M._Whitesides

EL TRASFONDO CIRCUNDANTE

En términos generales todas las nanotecnologías parecen seguir un curso similar (Barnard et al., 2019, p. 19191; Whitesides y Lipomi, 2009). Se asiste en primer lugar a un periodo inicial en el que se exageran las expectativas, lo que va seguido a continuación de una etapa de desencanto al imponerse la realidad circundante y posteriormente de una situación de auge en aquellos dominios en los que se manifiesta un potencial inmediato.

Feynman prevé que el nuevo modelo de diseño requerirá microscopios más poderosos, lo que posibilita a los físicos colaborar con los químicos en la síntesis de materiales y moléculas. Hace hincapié por otra parte en la circunstancia de la conducta específica de los átomos auspiciada por fuerzas específicas, que suministran a su vez nuevas coyunturas para el diseño. En esa época la humanidad se encuentra inmersa (Ozin, 2016) en una serie de adelantos tecnológicos entre los que podemos citar la exploración espacial (con la pugna política que aparece) Sputnik y Apolo 11, la doble hélice del ADN, el teflón, el microchip, las fibras ópticas y los láseres. La investigación y el desarrollo de pequeños (nano) sistemas no se promocionan entonces bien ante las agencias gubernamentales de financiación de la investigación y, en consecuencia, no reciben el necesario respaldo. Yuri Aleksandrovich Zolotov (1992-) afirma más adelante: “Hace gracia que para ganar un concurso y conseguir una subvención, se deban incluir (Zolotov, 2008) los prefijos “bio”, “info,” and, especialmente, “nano” en el nombre del Proyecto” (Loeve, 2010, p.4).

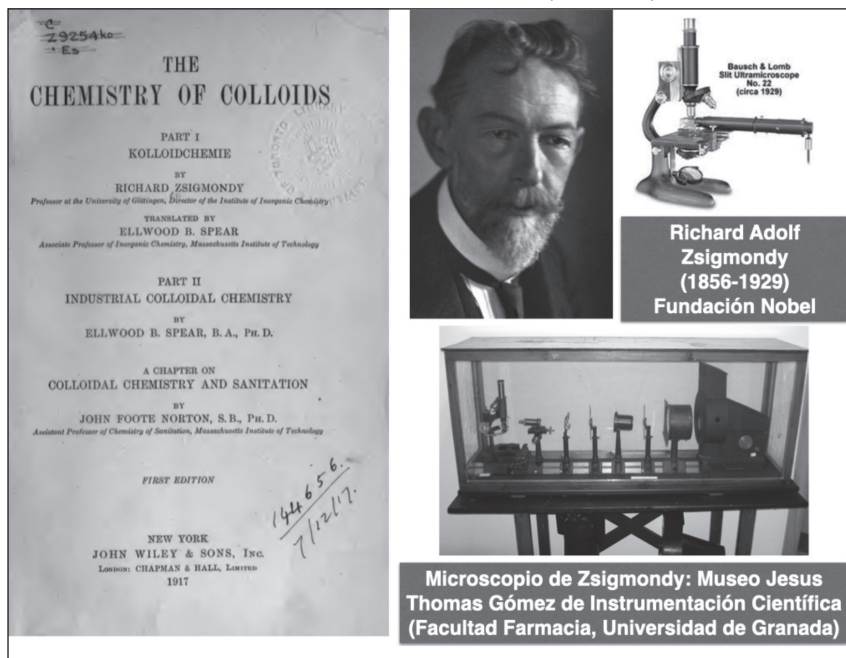
NANÓMETRO Y NANOTECNOLOGÍA: LOS DOS VOCABLOS

La palabra nano, derivada del griego “ναννος”, “nannos”, con doble n, en latín “nanus”, con una sola n, que significa enano, se utiliza para hacer referencia a cualquier material o propiedad que posee dimensiones en la escala nanométrica (1–100 nm) (Jacques, 2012; Loeve, 2010; Trotta y Mele, 2019). El prefijo es usado en el Sistema Internacional de Unidades (S.I.) para indicar el factor 10^{-9} . En esa escala, se observan muchas moléculas estudiadas por la química. Un nanómetro cúbico es aproximadamente veinte veces el volumen de un átomo. La undécima Conferencia General sobre Pesos y Medidas (CGPM, 1960) preconiza la utilización del latín para designar las fracciones del metro (por ejemplo, mili, micro...) destinando el griego para los múltiplos del metro. Esto explica por qué “nanno” se ha convertido en “nano”.

El concepto de nanómetro (Zsigmondi, 1914) es acuñado por Richard Adolf Zsigmondy (1865-1929), químico austriaco, Premio Nobel de química en 1925, para describir el tamaño de las partículas de las disoluciones coloidales (Hulla et al., 2015, p. 1318; Zsigmondi, 1919). Es el primero en medir el tamaño de las de oro con el uso de un microscopio igual que el que aparece en la Fig. 11, que pertenece al Museo Jesús Thomas Gómez de la Facultad de Farmacia de la Universidad de Granada.

Para Mansoori (2017, p. 7) es apropiado denominar a la escala del nanómetro escala Feynman (Φ nman) sugiriendo la notación Φ para ella, al igual que se usa Å para la escala Angstrom y μ para la escala micrón: 1 Feynman (Φ) = 1 nm = 10 Å = 10^{-3} μ = 10^{-9} m. “Nanoscale is regarded as a magical point on the dimensional scale: structures in nanoscale (called nanostructures) are considered at the borderline of the smallest human-made devices and the largest molecule of living systems” (Mansoori, 2017, p. 4).

FIGURA 11
RICHARD ADOLF ZSIGMONDI (1865-1929)



El vocable “nanotecnología” es empleado la primera vez por Norio Taniguchi (1912-1999), ingeniero de la Universidad de Tokio (Fig. 12), para referirse (Taniguchi, 1974) a la tecnología de producción que permite alcanzar una precisión ultra alta y tamaños [...] ultra pequeños del orden del nm: “la tecnología que puede separar, consolidar y deformar materiales átomo por átomo y molécula por molécula” (Shore y Morantz, 2012). El eslogan “Dar forma al mundo átomo a átomo” es usado por Amato en el lanzamiento del documento (Fig. 13) de la “National Science and Council Committee on Technology” (1999) diseñado para incrementar la visibilidad de la nanotecnología y hacerla llegar al público en general. En dicho panfleto Hors Ludwig Stormer (1949-) Premio Nobel de Física en 1998 indica “La nanotecnología nos ha dado las herramientas, la caja de juguetes con los que las posibilidades de crear cosas nuevas carecen de límites”.

La concienciación pública sobre la nanotecnología ha aumentado fuertemente, en cierto modo porque sus referencias son cada vez más frecuentes en la cultura popular, con menciones en películas de ciencia ficción, libros, videojuegos y televisión, recordándose en este sentido (Keiper, 2003, p. 17) las distintas versiones de “Star Trek”.

Bauer (2021), Park (2019) y Blonder (2011), entre otros autores y la IETE (2007), han tratado la enseñanza de la nanotecnología a través de proyectos, el diseño de cursos para promover el pensamiento crítico y las habilidades de enseñanza integradora, así como la historia y el papel representado por los nanomateriales en la moderna tecnología.

FIGURA 12
NORIO TANIGUCHI, INGENIERO, UNIVERSIDAD CIENCIAS DE TOKIO

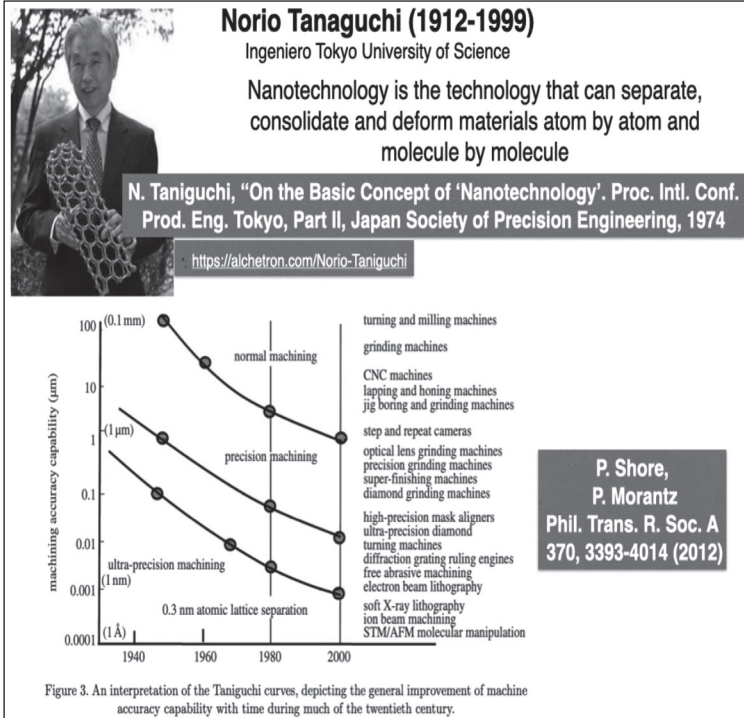
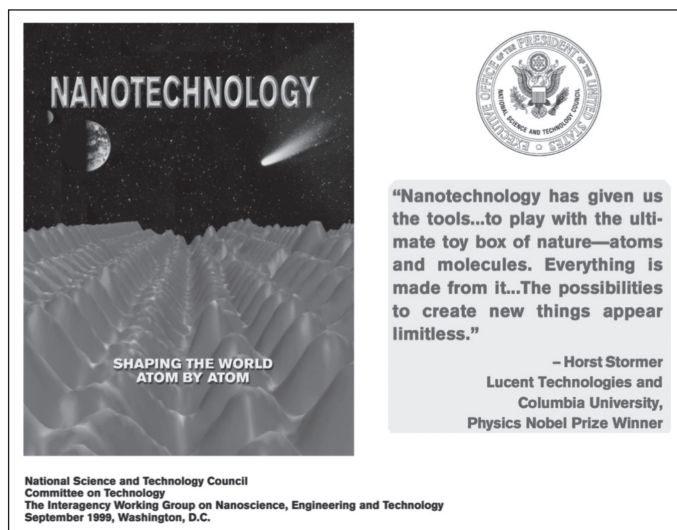


FIGURA 13
DOCUMENTO DE 1999 SOBRE NANOTECNOLOGÍA DE LA "NATIONAL SCIENCE AND COUNCIL COMMITTEE OF TECHNOLOGY" DE LOS EE.UU



TAMAÑO DE LOS NANOMATERIALES

El tamaño de los nanomateriales es superior al de los átomos simples (Altmann, 2006; Asuero, 2021b; Whitesides, 2003), pero inferior al de las bacterias y las células (Tabla 1). Una cadena de ADN es de unos 2 nm de diámetro, una molécula de albúmina de 7 nm, un ribosoma de 20 nm y la superficie del receptor de una célula de 40 nm. El transistor de última generación procesador Pentium Core Duo mide 45 nm. Los virus más sencillos constan de moléculas de ADN o ARN (genoma) protegidas por una cubierta de proteínas (cápside). Además, algunos virus están envueltos por partes de las membranas de sus células huésped decoradas por proteínas víricas (glicoproteínas).

El diámetro típico de un virus es del orden de 50 nm; el de la polio posee un diámetro de unos 32 nm, el del VIH de unos 100 nm, y el del herpes simple y el del SARS-Cov-2 de unos 125 nm (Asuero, 2021b; Tharayil et al., 2021). La primera imagen completa de un virus fue obtenida en 1955 mediante la técnica de difracción de rayos X por Rosalind Elsie Franklin (1920-1958), química, que cristalizó y determinó la estructura del virus del mosaico del tabaco (el primero de los virus descubiertos). La forma de este virus es cilíndrica (300 nm de longitud y 18 nm de diámetro), con el RNA viral en su interior (Klug et al., 1957; Morgan, 2004).

TABLA 1
TAMAÑOS TÍPICOS COMPARATIVOS: 1nm = 10⁻⁹ m (Altmann, 2004)

Núcleo atómico	1-7 10 ⁻⁶ nm
Átomo de silicio (en cristal)	0,24 nm
Molécula de agua (diámetro más largo)	0,37 nm
Nanotubo de carbono (diámetro)	0,7-3 nm
Molécula de ADN, anchura	2 nm
Molécula de proteína (hemoglobina, diámetro)	6 nm
Transistor integrado en moderno circuito	100 nm
Célula animal (diámetro)	2.000-20.000 nm
Pelo humano (diámetro)	50.000-100.000 nm

Los flagelos de las bacterias (Bhushan, 2017; Tan et al., 2021; Terashima, 2017) impulsan el movimiento de las células bacterianas y representan un modelo de máquina molecular biológica que gira a más de 10000 rpm. El flujo de protones causado por las diferencias de potencial electroquímico a través de la membrana es la fuerza motora. El diámetro del cojinete es de 20-30 nm, con un espacio libre estimado de aproximadamente 1 nm. La célula bacteriana puede en un medio líquido alcanzar una velocidad de hasta 60 longitudes de célula/segundo. La velocidad máxima que alcanza el guepardo, el animal terrestre más rápido es de 110 km/h, 25 longitudes de cuerpo por segundo.

CAMPO DE APLICACIÓN DE LA NANOTECNOLOGÍA

La nanotecnología contempla el diseño, preparación, caracterización y aplicaciones de los nanomateriales, trayendo a colación nuevos conceptos y propiedades (físicas, químicas, biológicas, mecánicas y eléctricas) surgidas como resultantes de la operación del cambio de escala. “The nanoscale is not just another step toward miniaturization, but a qualitatively new scale. The new behavior is dominated by quantum mechanics, material confinement in small structures, large interfaces, and other unique properties, phenomena and processes” (Bainbridge, 2001, p 5).

Las características de estos materiales (Bai y Liu, 2013; Ealias y Saravanajumar, 2017), peso más ligero, mayor resistencia, mejor control del espectro de luz, excelente reactividad química..., difieren de forma radical de los idénticos materiales en micro y macro escala. Esto es consecuencia de mostrar una elevada área superficial, tamaño muy pequeño, gran estabilidad y una química versátil en lo que se refiere a la variación de la superficie del material. “Nano gold doesn’t act like bulk gold” (Ratner y Ratner, 2003, p. 2). Los recientes adelantos en el diseño y síntesis de nanomateriales dan lugar a innumerables aplicaciones en las ciencias bioanalíticas (Fig. 14) y en la nanobiotecnología. La química analítica es un actor principal en el desarrollo de estas estructuras y una destinataria importante de los “dispositivos resultantes” (Baig et al., 2021, pp 1829-1831; Holland et al., 2018b; Holland et al., 2018a). En la Tabla 2 aparece una clasificación clásica en áreas.

FIGURA 14
IMPORTANCIA DE LA NANOBIOTECNOLOGÍA EN MEDICINA: CAMPOS DE APLICACIÓN
 (JAIN, 2008; KRUKEMEYER ET AL., 2015, p. 2/7)

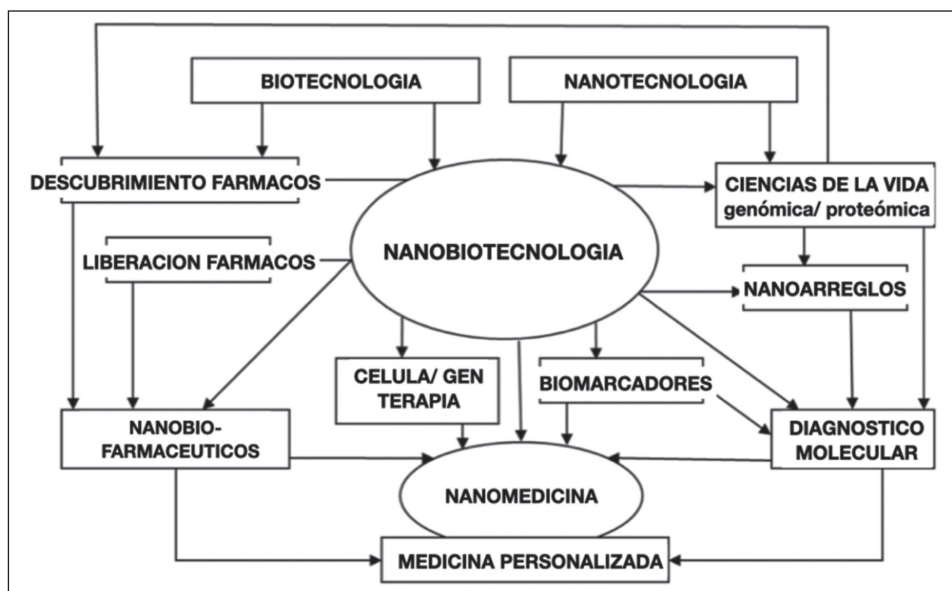


TABLA 2
DIVISIÓN DE ÁREAS CONTRIBUYENDO A LA NANOTECNOLOGÍA (TEGART, 2003, p. 3)

	Inorgánica	Orgánica
Física	Física mesoscópica Láseres Microscopía de barrido electrónico Electrónica	Electrónica molecular
Química	Química Inorgánica Ciencia de los aerosoles Modelización computacional	Química supramolecular Química Física
Biología		Biotecnología Medicina
Ingeniería	Ingeniería de precisión Ciencia de los materiales e ingeniería	

En la Tabla 3 se muestran diferentes dominios de aplicación por tipo de nanomateriales, y en la Tabla 4 una compilación de efectos de tamaño.

TABLA 3
DOMINIOS DE APLICACIÓN POR TIPO DE MATERIALES (GAFFET, 2011, P. 651)

Nanomateriales	Dominios de aplicación
Nanocerámicos	Materiales compuestos estructurados – Compuestos anti-UV – Pulido mecanoquímico de sustratos (obleas) en microelectrónica - Aplicaciones fotocatalíticas
Nanometálicos	Sectores antimicrobianos y/o de catálisis – Capas conductoras de pantallas, sensores o incluso materiales energéticos
Nanoporosos	Aerogeles para el aislamiento térmico en los dominios de la electrónica, de la óptica y de la catálisis – Dominio biomédico para aplicaciones de tipo vectorización o incluso implantes
Nanotubos	Conductores eléctricos nanocomposites – Materiales estructurados – Nanotubos de una hoja para aplicaciones en el dominio de la electrónica, pantallas
Nanomateriales masivos	Revestimientos duros – Componentes estructurados para la industria aeronáutica, automovilística, conductos para las industrias del petróleo y del gas, dominio deportivo e incluso sector anticorrosión
Dendrímeros	Dominio médico (administración de medicamentos, rápida detección) – Dominio cosmético
Puntos cuánticos	Aplicaciones optoelectrónicas (pantallas) – Celdas fotovoltaicas – Tintas y pinturas para aplicaciones de marcado anti-falsificación
Fullerenos	Sectores del deporte (nanocomposites) y cosmético
Nanohilos	Aplicaciones en las capas conductoras de pantallas o incluso en células solares, así como en dispositivos electrónicos

La nanotecnología ha revolucionado (Gussman, 2012; Janwal et al., 2021; Pautrat, 2011) diferentes áreas, como las de cosméticos (Kaul et al., 2018), medicamentos, dispositivos y tratamientos médicos (Boisseau y Lobation, 2011; Hajiali et al., 2021; Riehemann et al, 2009; Singh et al., 2020), productos farmacéuticos, agricultura y alimentación (Kiss, 2020), electrónica, y tecnología militar (Altmann 2004; Altmann, 2006; Kumar y Dixit, 2019; Molestina et al., 2020; Sharma et al., 2020; Tate et al., 2015), entre otras. La comercialización efectiva es también de enorme importancia para las empresas inventivas.

TABLA 4
RESUMEN DE EFECTOS DE TAMAÑOS (I – INTERNO, C- CLÁSICO; Q-CUÁNTICO)
(POKROPIVNY ET AL., 2007, PP. 29-30)

Propiedad	Influencia sobre las propiedades de las nanopartículas	Tipo
Estructural	Disminución o incremento del parámetro de red	IC
	Transformaciones estructurales	IC
Mecánica	Aumento de la dureza, fuerza, ductilidad, fractura	IC
	Aumento de la superplasticidad	IC
	Aumento de la resistencia al desgaste	IC
Térmica	Disminución del punto de fusión	IC
	Disminución de la temperatura de transición de fase	IC
	Disminución de la entalpía de fusión	IC
	Ablandamiento de los espectros de fonones	IC
Termo-dinámica	Incremento de la capacidad calorífica	IC
	Incremento de la temperatura de expansión	IC
	Disminución de la temperatura de Debye	IQ
	Estabilización de las elevadas temperaturas de fases	IC
Cinética	Aumento del coeficiente de difusión	IC
	Caída brusca de la conductancia térmica a un valor crítico d^*	IQ
	Oscilación de coeficientes cinéticos	IQ
Eléctrica	Aumento de la conductividad de las nanometales	IQ
	Aumento de la conductividad para los nanodieléctricos	IQ
	Aumento de la inductividad dieléctrica para los ferroeléctricos a d^*	EC
Electrónica	Aumento de la banda prohibida	IQ
	Elevación de la generación de fonón	IQ
	Incremento conductividad a bajas temperaturas en Bi semimetálico	IQ
Magnética	Incremento o disminución de la fuerza coercitiva a d^*	IQ
	Disminución de la temperatura de Curie	IQ
	Aumento del paramagnetismo en ferromagnetismo a una d^* dada	EQ
	Aumento de la ganancia en magnetoresistencia	EQ
	Aumento de la temperatura máxima de magnetoresistencia	EQ
Incremento de la permeabilidad magnética en ferromagnética a d^*	EQ	
Óptica	Difracción e interferencia	EC
	Incremento de la absorción en el rango ultravioleta (hacia el azul)	IQ
	Oscilación de la absorción óptica	EQ
	Aumento de las propiedades ópticas no lineales	EQ
Química	Incremento de la actividad catalítica	IC
	Incremento de la velocidad de las interacciones físico-químicas	IC
	Intercambio de solubilidad	IC

HERRAMIENTAS DE LA NANOTECNOLOGÍA: MICROSCOPIOS DE EFECTO TÚNEL Y DE FUERZA ATÓMICA

El descubrimiento de dos instrumentos constituye un revulsivo en la formación de imágenes y manipulación de objetos en escala nano haciendo factible el crecimiento de las nanotecnologías (Baird y Shew, 2004; Editorial, 2010). El primero consiste en el microscopio de efecto túnel (STM) (Fig. 15). Con él es posible la visión de átomos individuales obteniéndose imágenes de una elevada precisión de la superficie de un material (0,1 nm en la resolución lateral y 0,01 nm en la de profundidad). Es concebido en 1981 por Gerd Binnig (1947-), alemán, y Heinrich Rohrer (1933-2013, suizo, de IBM (Zurich) (Binnig y Rohrer, 1986; Binnig y Rohrer, 1989), que reciben en 1986 el Premio Nobel de Física junto a Ernst Ruska, (1906-1988), alemán, (Fig. 16) por la puesta a punto anterior del microscopio electrónico, en este último caso. En la Fig. 16 también se observa el equipo de fútbol de IBM; Binnig y Rohrer con los ramos de flores y Christoph Gerber (1942-), suizo, con el balón.

Binnig y Rohrer son acusados de fraude y sus trabajos rechazados (Binnig, 1989; Granet y Hon, 2007, p. 14; Hessenbruch, 2004, p. 138): “One referee more or less said that it was not interesting, because everybody knows that a tunnelling current is an exponential function. I think he did not get in” (Granek y Hon, 2007, p. 14). La actitud primaria era considerar no ser posible la resolución de un átomo individual dado el principio de incertidumbre, expresado en 1927 por Werner Karl Heisenberg (1933-1976) Premio Nobel de Física en 1933. El hecho es, que éste no es aplicable a la situación de átomos incrustados en un sólido; los ejemplos usados para explicar el principio de incertidumbre conciernen solamente a los átomos libres. Binnig y Rohrer requerían apoyarse en una teoría (desarrollada en 1983 y 1984) concluyente fundamentada en la mecánica cuántica, que permitiera dar una explicación al proceso de “tunelización”.

A esto hay que añadir que algunos investigadores habían apostado mucho por las técnicas existentes, y eran contrarios a la admisión de otra nueva que pudiera desfasar su experimentación. El STM posee tres características: 1) la presencia del túnel de electrones, 2) un procedimiento estable y preciso para situar la punta de metal próxima a la superficie plana conductora objeto de examen y 3) un procedimiento estable de medida de la corriente en el dominio de los picoamperios (10^{-12} A) a nanoamperios (10^{-9} A).

La primera conferencia internacional sobre “Scanning Tunnelling Microscopy (STM) tuvo lugar en Santiago de Compostela, España, del 14 al 18 de julio de 1986 (Lindsay, 2010).

El segundo instrumento clave de la nanotecnología es la microscopía de fuerza atómica (AFM), Fig. 17, ideada en 1986 por Binnig, Calving Forrest Quate (1923-2019), y Gerber. Se cuenta que Binnig, la misma noche en la que obtuvo imágenes de átomos individuales, sintió en primer lugar una intensa emoción, adueñándose de él después (Giguere, 2008, pp. 161, 163) una sensación de malhumor y decaimiento ante la probabilidad de no volver a descubrir nada tan hermoso. En 1985 pasa un año en la Universidad de Stanford donde se incorpora al grupo de Quate, profesor de ingeniería eléctrica y física aplicada. El microscopio de túnel de barrido requería de una sonda de metal dura

FIGURA 15
GERD BINNIG (1947-), HEINRICH ROHRER (1933-2013) Y EL STM

Gerd Binnig (1947-)
 Fundación Nobel

Heinrich Rohrer (1933-2013)
 Fundación Nobel

Tensiones de control para el piezotubo
 IAPC piezoelectrónico con electrodos
 Voltaje de tunelamiento
 Corr. amplificadora de tunelamiento
 Control de distancia y unidad escaneadora
 Proceso de datos y visualización

EA 125 Energy Analyser
 X-ray Source
 Argon Gun
 Preparation Chamber
 Analysis Chamber
 LEED Camera
 Heater Assembly
 STM Chamber
 Wobble Stick
 Gate Valve
 Evaporator

<https://www.maths.tcd.ie/~bmurphy/thesis/thesis3.html>

https://es.wikipedia.org/wiki/Microscopio_de_efecto_t%C3%BAnel

FIGURA 16
EQUIPO DE FÚTBOL DE IBM, ERNST RUSCA (1906-1988) Y EL EM

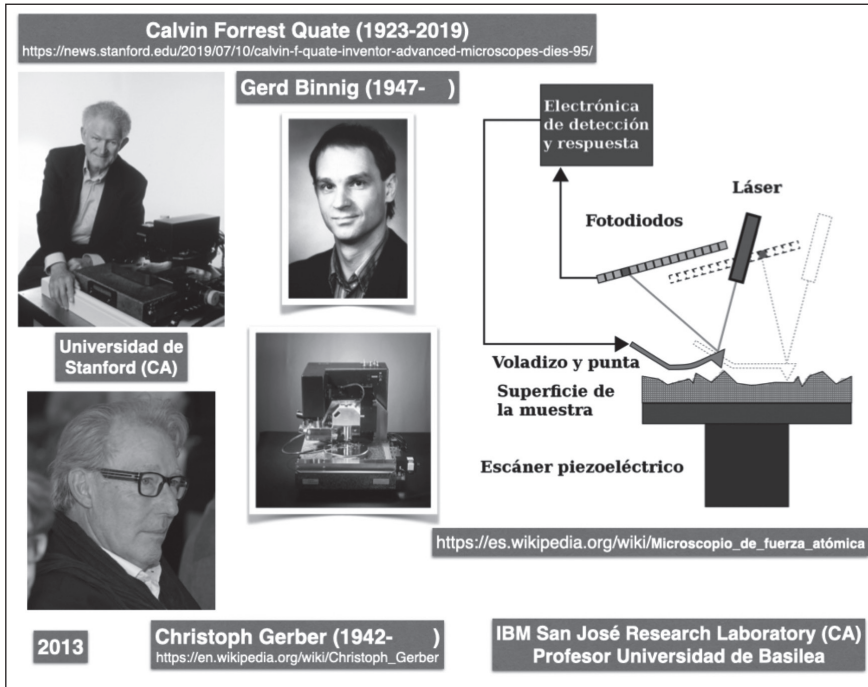
Microscopio electrónico

IBM soccer team, 1986. Heinrich Rohrer and Gerd Binnig (holding flowers). Christoph Gerber (holding ball)
<https://www.zurich.ibm.com/news/13/rohrer.html>

Ernst Rusca (1906-1988)
 Archivo de la Fundación Nobel
 Berlin Technische Hochschule

<https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/6/6e/Elektronenmikroskop.jpg>

FIGURA 17
GERD BINNING, CALVIN FORREST QUATE (1923-2019), CHRISTOPH GERBER (1942-)
Y EL AFM



y afilada funcionando sólo en el caso de que la muestra fuera un metal o un semiconductor. Binning se plantea en cambio la utilización de una sonda flexible que posibilitara escanear imágenes de muestras no conductoras de la electricidad, lo que condujo a la invención del microscopio de fuerza atómica (Asuero, 2021).

La puesta en escena de estos dos instrumentos abre a los investigadores las verjas del “nanomundo” (Gerber y Lang, 2006; Schaming y Remita, 2015), proporcionándoles los elementos indispensables no solo para la obtención de imágenes de superficies con resolución atómica, sino también para la moción de átomos individuales tal como había adelantado Feynman. “Nos emocionamos de que también pudiéramos además de poder ver “los átomos”, hacer cambios en esa escala, lo que era realmente inaudito hasta ese momento. Fue una impresión tremenda” (Durrani, 2020), comentaba (Fig. 18) Phaedon Avouris (1945-), químico-físico griego del IBM “Watson Research Center” en Yorktown Heights (NY), emocionado por el poder de las nuevas herramientas.

Por esa época Whitesides y Geoffrey Alan Ozin (1943-) inician una serie de estudios que muestran el tipo de contribuciones que la química puede hacer a los nanosistemas. El campo de los materiales nanoporosos se ha ido ampliando (Ozin, 2016) con marcos organometálicos (metal-organic frameworks, MOF), marcos orgánicos covalentes (covalent-organic frameworks), estructuras aromáticas porosas, estructuras orgánicas con

enlaces de hidrógeno y polímeros porosos, sílice mesoporosa... y sus correspondientes aplicaciones. En colaboración con el artista Todd Siler (1953-), Ozin (2016) ha creado “ArtNano Innovations”, un proyecto para informar al público en general acerca de la belleza visual del nanomundo a través de “artwork” multimedia.

Dos investigadores de IBM (Almaden, USA) Donald M. Eigler (1953-) y Erhard K. Schweizer, investigador visitante del Instituto Fritz Haber en Berlín, tras 22 horas de trabajo continuo rotulan (Eigler y Schweizer, 1990) con 35 átomos de xenón en 1990, el nombre de la compañía (Fig. 18) en una superficie de un cristal de níquel enfriado hasta casi el cero absoluto. El mismo tiempo se requiere en 2016 para escribir con la ayuda de un STM automatizado un kilobyte de datos, controlando la posición de más de 8100 átomos de cloro (Durrani, 2020). En la actualidad, Christopher Lutz de IBM está a cargo del proyecto de nanomagnetismo y tiene como objetivo extender los límites del almacenamiento de datos aún más controlando el spin de los átomos individuales.

La nanotecnología dispone desde el principio, de un icono y logotipo (Fig. 19), creado por los científicos de IBM, similar al de la doble hélice de ADN, convirtiéndose en brazo publicitario de la compañía (Laszlo, 2004) de cara a la opinión pública, en adición a la imagen emblemática de un corral de 48 átomos de hierro colocados en un círculo de 7,3 nm de radio (Crommie et al., 1993). En otra imagen, la nanotecnología representó con orgullo en 1990 en la portada de “Nature” (Driscoll et al., 1990) su arquetipo con una imagen STM de ADN. Y en la portada de “Angewandte Chemie”, el Mo132 similar al universo de Kepler, una imagen continuista dentro de la tradición geométrica pitagórica (Müller et al., 1998).

NANOTECNOLOGÍA CENTRADA EN LA INSTRUMENTACIÓN

La narrativa de la nanotecnología centrada en la instrumentación también aparece como obvia. Don Eigler ha dicho: “when it comes to nano, start looking at Binnig instead of Feynman” (Toumey, 2008, p. 162). Diversos autores insisten en que no fueron influenciados por Feynman, aunque Ozil (2016) indica: “I was inspired by the famous lecture ‘There is plenty of room at the bottom’...and the idea of being able to carry out atom-by-atom assembly”. Es posible que la elevada repercusión de la STM y la AFM se debiera a lo inmediato de sus resultados, y a su bajo precio relativo. Estos instrumentos se tornaron rápidamente más asequibles (Jones, 2011) y fáciles de usar que las bien establecidas técnicas de microscopía electrónica, que permanecían en gran medida restringidas a los especialistas. Muchos instrumentos integran en la actualidad los dos sistemas STM y AFM en el mismo dispositivo, lo que permite de forma simultánea el análisis de la fuerza y la corriente (Durrani, 2020).

Los AFM de un millón de dólares posibilitaban interactuar con la nanoescala como nunca se había realizado con anterioridad: empujar átomos, cortar moléculas en dos o agarrar el extremo de una proteína y tirar de ella hasta enderezarla. Estos instrumentos facultaban pensar en moléculas individuales como objetos, incluso como herramientas. Otras técnicas que guardan una relación, como la microscopía de túnel de

FIGURA 18
GEOFFREY ALAN OZIN (1943-), TODD SILER (1953-) Y PHAEDON AVOURIS (1945-)

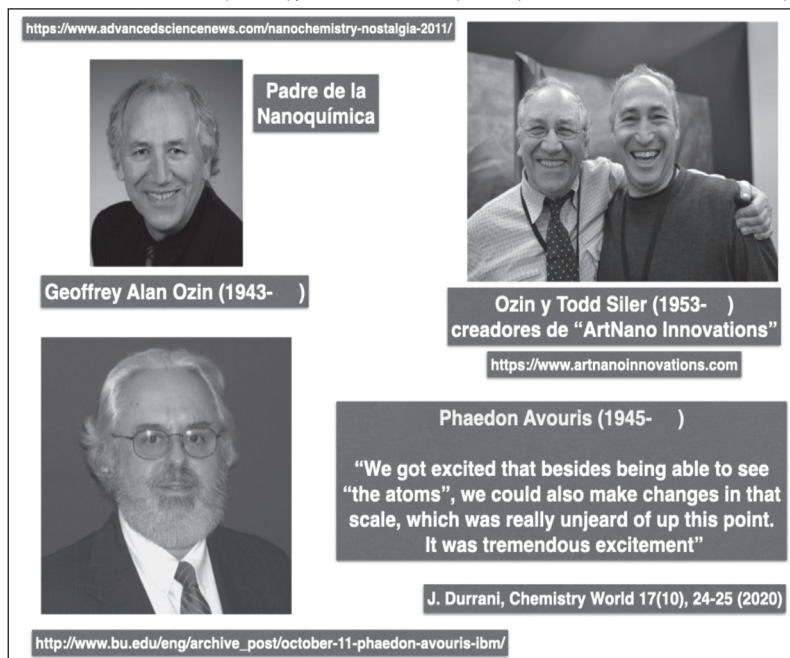
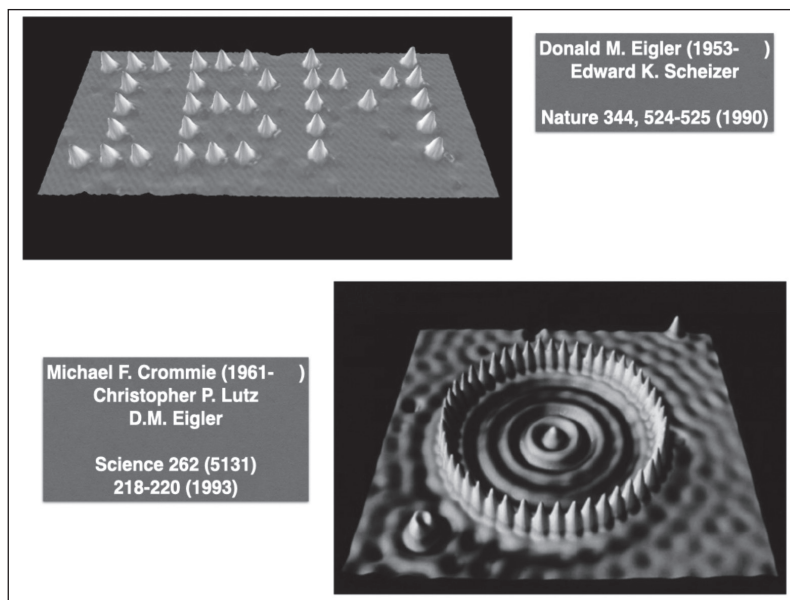


FIGURA 19
IMÁGENES ICÓNICAS DEL LOGO DE LA EMPRESA IBM Y DEL CORRAL CUÁNTICO, EMBLEMÁTICAS DE LA NANOTECNOLOGÍA



escaneo de fotones (PSTM), la potenciometría de escaneo por efecto túnel (STP) y microscopía de efecto túnel de espín polarizado de escaneo (SPSTM), han sido objeto de desarrollo.

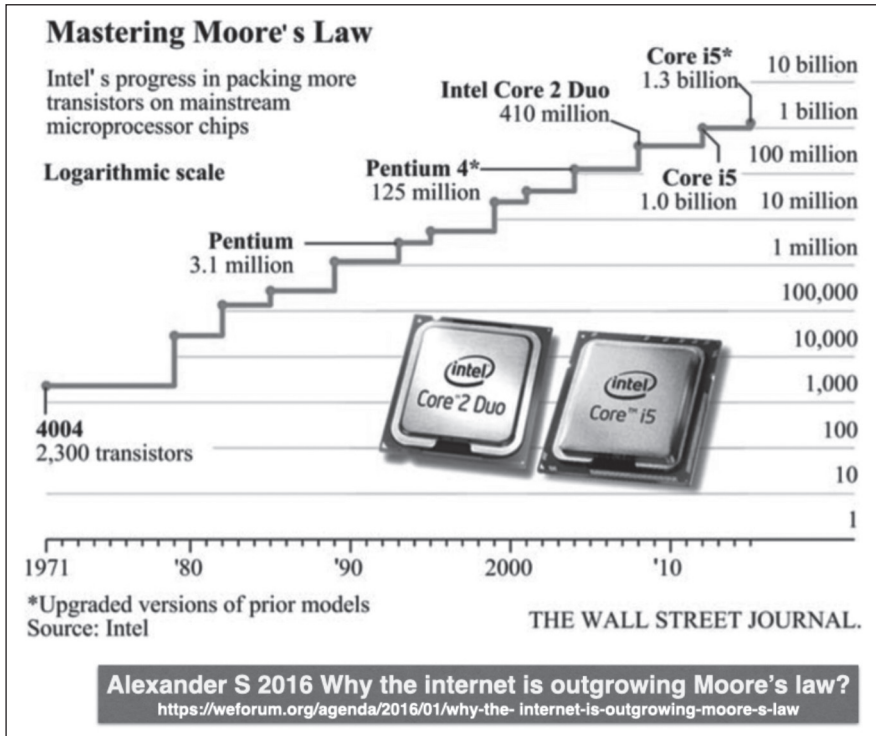
MINIATURIZACIÓN DE LOS DISPOSITIVOS ELECTRÓNICOS: LEY DE MOORE

En la década de los 90 la nanotecnología echa a andar (Albe, 2018; Laszlo, 2004) arrastrada por el caballo de la ley de Gordon Earl Moore (1929-), Licenciado en Química por la Universidad de California en Berkeley, doctorado en química y física en el CalTech. La ley sostiene (Moore, 1965) que aproximadamente cada dos años (en la versión inicial cada uno) el número de transistores en un microprocesador se duplica (Fig. 20). La popular expresión de esta ley (Whitesides, 2005) es “smaller is cheaper and faster”. El chip Intel 4004 en 1971 constaba de 2250 transistores; en 1982 y 1999 los procesadores Intel 286 y el Pentium contenían 120.000 y 24 millones de transistores, respectivamente (Nagod y Halse, 2017). En campo de la electrónica, la reducción del tamaño de los componentes se muestra como una “nano-revolución” que responde al incremento de la demanda de miniaturización de materiales electrónicos, cuyas expectativas son prometedoras en la ciencia de los materiales, la ingeniería, la medicina, y otros muchos campos. El progreso en la miniaturización de dispositivos electrónicos ha jugado un papel relevante (Choi y Mody, 2009; Mody, 2017) en el desarrollo tecnológico continuo, aumentando el rendimiento y la velocidad de intercambio de la información. Gracias a los avances en las técnicas de fabricación nanolitográfica y en métodos químicos como el autoensamblaje, es posible reducir el tamaño de los dispositivos a unas pocas decenas de nanómetros o menos (Fang et al., 2019; Sharma, 2017). Se incrementa así el potencial del semiconductor tradicional y se abren nuevas posibilidades basadas en los efectos cuánticos.

LA HISTORIA PREVIA

Algunas de las fechas clave relacionadas con la nanotecnología, se muestran en la Tabla 5 (Baida et al., 2020; Bhatnagar y Goel, 2014, pp 77-78; Hulla et al., 2015; Jeevanandam et al., 2012; Korney, 2016; Luby et al., 2015; Mody y Lynch, 2010; Schaming y Remita, 2015; Sharma, 2017; Sharon, 2019; Webster, 2007) La nanociencia, en cierta medida, experimenta un auge con el descubrimiento de los fullerenos y de los nanotubos de carbono (Asuero, 2021a; Asuero, 2021b; Jacquesi, 2012; Loeve, 2017; Valcarcel, 2010); las estructuras huecas de ambos consiguen despertar la atención de los investigadores bien pronto. Los nanotubos de carbono (Delgado et al., 2008; Martin, 2011) son una forma estable de carbono con propiedades insospechadas de resistencia a la tracción y la temperatura, y el grafeno (Dresselhaus y Araujo, 2010), un alótropo del carbono que exhibe una extraordinaria capacidad de resistencia. Mientras que las macro sustancias son continuas y homogéneas, en los átomos a nanoescala sus relaciones estructurales adquieren una importancia vital.

FIGURA 20
LEY DE GORDON EARN MOORE (1929-)



Las ideas básicas sobre las que se cimenta el área de los nanomateriales tienen una larga historia, que data al menos de los experimentos de Alan Arnold Griffith (1893-1963), ingeniero mecánico del Reino Unido, quien demuestra en 1920 que las fibras de vidrio más delgadas eran más fuertes (Gordon, 1968) que las más gruesas. A finales de la década de 1950 Arthur Robert von Hippel (1898-2003), físico de materiales, germano-norteamericano, e interesado en el diseño molecular desde los años 30, acuña el término de “ingeniería molecular” (von Hippel, 1956), aplicado a materiales dieléctricos, ferroeléctricos y piezoeléctricos.

Los primeros trabajos sobre nanopartículas metálicas datan del siglo XIX, incluyendo la síntesis de oro coloidal de Faraday en la década de 1850, experiencias que llevó a cabo con su amigo Warren de la Rue (1815-1889), químico, fabricante de papel y astrónomo (Faraday, 1857; Laszlo, 2019), aunque el término de coloide (del francés colle) se acuña algo más tarde (Graham, 1861; Mokrushin, 1962) por el químico escocés Thomas Graham (1805-1869), primer presidente de la “Chemical Society”, a los 35 años de edad (Asuero, 2019). “As gelatine appears to be its type, it is proposed to designate substances of the class as colloids, and to speak of their peculiar form of aggregation as the colloidal condition of matter” (Graham, 1861).

TABLA 5
FECHAS CLAVES SELECCIONADAS DE INTERÉS HISTÓRICO EN NANOTECNOLOGÍA
(ASSALI, 2012; SHARMA ET AL., 2017; WEBSTER, 2007)

Año	Acontecimiento
1959	En una conferencia impartida tras la cena de un congreso Richard Feynman anticipa máquinas moleculares construidas con precisión atómica, apuntando hacia la nanotecnología como una iniciativa a adoptar para producir una revolución en la ciencia
1965	Ley de Moore (Gordon Earl Moore): el número de componentes por circuito integrado se duplica anualmente
1968	Se pone a punto una técnica que permite depositar capas atómicas individuales: crecimiento epitaxial por haces moleculares (Molecular Beam Epitaxi, MBE)
1970	Se usan los liposomas en el transporte (vectorización) de medicamentos
1974	En una contribución sobre pulverización catódica mecanizada de iones Norio Taniguchi (1974) utiliza el término “nanotecnología”
1978	El primer proceso de fabricación de nanopartículas es objeto de patente
1981	Gred Binning y Heinrich Rohrer, idean el microscopio de efecto túnel (STM) mostrándose átomos de oro individuales
1985	Harry Kroto, Richard Smalley y Robert Curl (Premio Nobel 1996) descubren los fullerenos
1986	La idea de un “assembler” a nanoescala capaz de replicarse a sí mismo, que posibilita construir casi cualquier conforme a las leyes de la naturaleza es propuesta por K. Eric Drexler
1986	Invencción del microscopio de fuerza atómica (AFM) que posibilita un control sin precedentes sobre el diseño y caracterización de nanomateriales.
1987	El 20 de enero se celebra en el Instituto Tecnológico de Massachusetts, Cambridge, MA, EE.UU., el primer simposio universitario “Explorando la nanotecnología”
1988	Primer curso universitario sobre “Nanotecnología e ingeniería exploratoria” en la Universidad de Stanford, Palo Alto, California, EE. UU .
1989	Logotipo de IBM escrito con 35 átomos Xe en Ni por Donald Eigler y Erhard Schweizer usando un microscopio de efecto túnel
1990	Publicación de “Nanotechnology”, la primera revista de nanotecnología
1991	Descubrimiento de los nanotubos de carbono por Sumo Iijima del NEC
1993	Crommie, Lutz y Eigler, físicos de IBM, construyen un “corral cuántico” colocando 48 átomos de hierro en un círculo sobre una superficie de cobre, usando la STM. Las espectaculares imágenes muestran las ondas estacionarias creadas por los electrones de superficie dentro del corral.
1995	Nano-impresión por S. Y. Chou
1996	Primera “nanobio” conferencia “Enfoques biológicos y nuevas aplicaciones de la nanotecnología molecular” del 9 al 10 de diciembre en San Diego, California, EE. UU. organizada por “International Business Communications”
1998	Primer estudio que demuestra un mayor crecimiento de tejido en nanoestructuras en comparación con los materiales utilizados actualmente (Webster et al 1998).
2000	Bill Clinton, Presidente de los EE.UU. anuncia en el CalTech el 21 de enero la “Iniciativa nacional de nanotecnología”.
2001	Nanoestructuras pasivas, con el enfoque principal en la síntesis y el control de procesos a nanoescala junto con herramientas de medición.

2003	Las implicaciones sociales de la nanotecnología se plantean ante el Congreso de los EE.UU. El presidente George W. Bush firma la Ley de Investigación y Desarrollo en nanotecnología del siglo XXI
2004	Se procede al aislamiento del grafeno por Andre Geim y Konstantin Novoselov y a la explicación de sus propiedades eléctricas
2005	Nanoestructuras activas con un enfoque en dispositivos novedosos y nanobiosensores como un área clave de investigación
2006	Aparece el “International Journal of Nanomedicine”, primera revista internacional en nanomedicina, reflejando el interés mundial existente
2010	Nanosistemas tridimensionales (3D) y síntesis y ensamblaje centrado en nanoestructuras heterogéneas e ingeniería de sistemas supramoleculares.
2015	Nanosistemas moleculares heterogéneos (autoensamblaje multiescala)

El trabajo de Faraday que trata de la interacción de la luz con partículas que son de dimensiones diminutas es un hito porque en él se anuncia (Edwards y Thomas, 2007) el nacimiento de la ciencia coloidal moderna. No obstante, en sus trabajos Graham no menciona las investigaciones de Faraday “on the finest suspensions of metallic gold, nor the works of Selmi on pseudosolutions...”. Graham “never assumed that the finest suspensions of gold, silver chloride, sulphur and other similar systems are colloidal solutions” (Mokrushin, 1962). Gustav Mie, físico alemán, describe las interacciones de la luz con nanopartículas metálicas (Mie, 1908) y en 1940 nanopartículas de SiO₂ (Eitner y Abraham, 1998) son manufacturadas como sustitutos de negro de carbón para reforzar el caucho.

El uso de nanopartículas metálicas data de los comienzos de la fabricación del vidrio en Egipto y Mesopotamia en los siglos XIV y XIII a. C. La copa de Licurgo (Fig. 21) (Bayda et al., 2020, p. 4/15; Bhatnagar y Goel, 2014), de vidrio romano del siglo IV, se expone en el Museo Británico de Londres. Licurgo, mítico rey de Tracia, intentó matar a Ambrosía, seguidora del Dios Dionisio (Baco romano); transformada esta en vid se enreda sobre el rey atenazándole hasta causarle la muerte. El color observado se asemeja al jade con un tono amarillo verdoso opaco cuando se ilumina la copa desde el exterior (luz reflejada) mientras que se vuelve de un color rubí traslúcido al iluminarse desde el interior (luz transmitida). Este dicromismo se debe a la presencia de nanopartículas de una aleación de plata-oro de 50-100 nm de diámetro.

Algunas iglesias cristianas de Roma, construidas entre los siglos IV y XII, están decoradas con mosaicos de paredes y bóvedas que contienen teselas de vidrio color carne. Un efecto similar se observa en las vidrieras de las iglesias y catedrales de finales de la Edad Media (Bayda et al., 2020, Schaming y Remita, 2015) cuyo brillo de color rojo y amarillo luminoso se debe a la presencia de nanopartículas de Au y Ag en el vidrio. Andreas Cassius (1605-1673), médico y químico, describe la formación de la “púrpura de Cassius” (Hunt, 1976), procedimiento publicado por su hijo del mismo nombre, Andreas Cassius (1645-1700), también químico y médico, cuya receta llega a China durante la dinastía Qing (siglo XVIII) de la mano de los misioneros jesuitas, y se

utiliza con éxito en la confección en 1723 de la famosa porcelana china “Familia Rosa”. Johann Rudolf Glauber (1604-1670), farmacéutico alemán, menciona otro método de preparación ya en 1659, y que se utilizaba en una fábrica de Potsdam en 1679.

El concepto de nanotecnología ha sido impulsado por una serie de fenómenos concurrentes, algunos asociados a avances científicos y técnicos concretos, procedentes del ámbito científico, y otros a influencias culturales y cambios económicos y políticos. La historia del desarrollo de la nanotecnología debe entenderse de forma integral (Jones, 2011), debiendo prevalecer la noción de que el trabajo científico no es una actividad autónoma que transcurre aislada de influencias sociales más amplias.

FIGURA 21
COPA DE LICURGO



NANOCIENCIA Y NANOTECNOLOGÍAS

El diccionario de la lengua española (Fig. 22) (Real Academia Española, 2014) define la nanotecnología como la “tecnología de los materiales y de las estructuras en las que el orden de magnitud se mide en nanómetros, con aplicaciones a la física, la química y la biología. La “Royal Academy of Engineering” del Reino Unido define la nanociencia en singular, y en plural las nanotecnologías: “La nanociencia es el estudio de los fenómenos y la manipulación de materiales a escalas atómicas, moleculares y macromoleculares, donde las propiedades difieren significativamente de las de mayor escala. Y las nanotecnologías son el diseño, caracterización, producción y aplicación de estructuras, dispositivos y sistemas controlando la forma y tamaño a escala nanométrica” (The Royal Society/ The Royal Academy of Engineering, 2004).

FIGURA 22
DEFINICIÓN DE NANOCIENCIA Y NANOTECNOLOGÍA(S): REALES ACADEMIA
ESPAÑOLA Y DE INGENIERÍA DEL REINO UNIDO

“Nanomaterials, nanostructures, nanostructured materials, nanoimprint, nanobiotechnology, nanophysics, nanochemistry, radical nanotechnology, nanosciences, nanooptics, nanoelectronics, nanorobotics, nanosoldiers, nanomedicine, nanoeconomy, nanobusiness, nanolawyer, nanoethics”

nanotecnología

De nano- y tecnología.

RAE
 Real Academia Española

REAL ACADEMIA ESPAÑOLA

1. f. Tecnología de los materiales y de las estructuras en la que el orden de magnitud se mide en nanómetros, con aplicación a la física, la química y la biología.

Royal Academy of Engineering

“Nanoscience is the study of phenomena and manipulation of materials at atomic, molecular and macromolecular scale, where properties differ significantly from those at a larger scale

“Nanotechnologies are the design, characterization, production and application of structures, devices and systems by controlling shape and size at nanometre scale”

La nanociencia (Filipponi y Sutherland, 2010) es una ciencia interdisciplinaria de integración horizontal que abarca a todas las ciencias verticales y disciplinas ingenieriles. Las nanotecnologías son tecnologías convergentes de habilitación horizontal que abarcan todos los sectores industriales verticales, con un nivel de impacto diferente en cada sector concreto. En la Tabla 6 se recogen diferentes definiciones de nanotecnología.

QUÍMICA ANALÍTICA Y NANOTECNOLOGÍA

La nanotecnología analítica constituye la última etapa en la tendencia técnica hacia la miniaturización a través de la secuencia de macro a micro y a nano (Adams y Barbate, 2013; Sharma et al, 2017). El diseño y uso de nanodispositivos y de nanopartículas (y nanoestructuras) en procesos analíticos, y la extracción de información química precisa del nano-mundo (Bahru, 2019; Contado, 2015; Eswara et al., 2019; Holland y Zhong, 2018b; Laval et al., 2000; Mowat et al., 2007) constituyen ejemplos de relaciones entre la química analítica y la tecnología. Ninguna de las técnicas por sí sola (Berger, 2011) proporciona un análisis químico completo, pero sí dan información combinada, como propiedades estructurales, composición de especies o estados químicos de la muestra.

TABLA 6
ALGUNAS DEFINICIONES DE NANOTECNOLOGÍA

Autor/Institución	Definición
Roald Hoffman (1997) University of Cornell (Ithaca, NY) Foresight Update 20	La nanotecnología es la forma de controlar ingeniosamente la construcción de estructuras pequeñas y grandes, con propiedades intrincadas, es el camino del futuro, una forma de construcción controlada con precisión, con, por cierto, el respeto ambiental incorporado por diseño.
US National Science and Technology Council CNSTC (2000)	La esencia de la nanotecnología es la capacidad de trabajar a nivel molecular, átomo por átomo, para crear grandes estructuras con una organización molecular fundamentalmente nueva.
NASA	La creación de materiales, dispositivos y sistemas funcionales mediante el control de la materia en la escala de longitud nanométrica (1-100 nm) y la explotación de nuevos fenómenos y propiedades (físicas, químicas, biológicas) a esa escala de longitud.
National Nanotechnology Initiative (NNI) http://www.nano.gov/nanotech-101/what/definition	La nanotecnología es la comprensión y el control de la materia en dimensiones de aproximadamente 1 a 100 nm, donde fenómenos únicos permiten aplicaciones novedosas.
Georges M. Whitesides Nanoscience, nanotechnology, and chemistry Small 2005, 1(2) 1161-1165	La “nanociencia” es la ciencia emergente de objetos que tienen un tamaño intermedio entre las moléculas más grandes y las estructuras más pequeñas que pueden fabricarse mediante la fotolitografía actual; es decir, la ciencia de los objetos con dimensiones más pequeñas que van desde unos pocos nanómetros hasta menos de 100 nanómetros
Environmental Protection Agency (EPA)	La creación y uso de estructuras, dispositivos y sistemas que tienen propiedades y funciones novedosas debido a su pequeño tamaño.
Gerardo Caruso, Lucia Merlo, Maria Caffo, “Innovative Brain Tumor Therapy. Nanoparticle based therapy strategies”, Elsevier, 2015, p. 167	La nanotecnología es la ingeniería de sistemas funcionales a escala molecular obtenida mediante la manipulación finamente controlada de la materia a escalas atómicas, moleculares y supramoleculares.

Los nanomateriales poseen propiedades singulares (Kecili et al., 2019) que son notablemente diferentes de las de los materiales usuales, y también requieren condiciones experimentales más estrictas en su preparación, caracterización y aplicaciones. En la Tabla 7 se muestran métodos de caracterización. La ciencia analítica (Holland, 2018; Holland y Zhong, 2018; Kecili et al., 2019; Ligler y White, 2013; Mathur y Medintz, 2017; Zenobi, 2008) es fundamental para avanzar en la comprensión del comportamiento complejo observado con los nanomateriales; las tecnologías analíticas arrojan luz sobre la composición elemental y la distribución del tamaño de la muestra con una precisión sin precedentes. Un bosquejo de la resolución espacial de las diferentes técni-

cas se muestra en la Tabla 8 y Fig. 23. La implementación y el diseño de experimentos que involucran fenómenos a nanoescala han ampliado los límites de las herramientas actualmente disponibles para evaluar sistemas a nanoescala. Esto ha llevado aparejada la búsqueda de nuevos enfoques analíticos (Crawley y Thompson, 2014; Soriano et al., 2017; Silina et al., 2020) y la puesta en marcha de un proceso de innovación continua a través de la nanotecnología.

Es importante señalar que ninguna de estas técnicas por sí sola puede proporcionar un análisis químico completo (Asuero, 2021b). Sin embargo, se puede dar información combinada, como propiedades estructurales, composición de especies o estados químicos contenidos en la muestra medida. De las técnicas mostradas anteriormente, algunas son métodos primarios (Leach et al., 2011, p. 3/15) que miden directamente una cantidad de especies químicas o elementales, mientras que otras determinan una cantidad, ya sea después de una etapa de calibración específica o expresada como el espesor de la película considerada (Asuero, 2021b). La trazabilidad de las mediciones a través del mol o del metro es entonces necesaria para proporcionar algún análisis metroológico.

TABLA 7
VARIADOS MÉTODOS DE CARACTERIZACIÓN DE NANOPARTÍCULAS EN FASE SÓLIDA, LÍQUIDA O GASEOSA (EALIAS Y SARAVANAKUMAR, 2017, p. 8/15)

	Sólido	Líquido	Gaseoso
Tamaño	Microscopio electrónico y difracción laser para muestras "bulk"	Espectroscopía de correlación fotónica y centrifugación	SMPS y contador de partículas óptico
Área superficial	Isoterma BET	Valoración simple y experimentos de NMR	SMPS, DMA
Composición	XPS y digestión química seguida por digestión química húmeda para muestras "bulk"	Digestión química para espectrometría de masas, espectroscopía de emisión atómica y cromatografía iónica	Partículas recogidas para análisis por espectrometría o técnicas químicas húmedas
Superficie morfológica	Análisis de imagen de micrografía electrónica	Deposición en superficie para microscopía electrónica	Captura electrostática de partículas o mediante filtración para imagen usando microscopía electrónica
Carga de superficie	Potencial zeta		DMA
Cristalografía	Rayos X en polvo o difracción neutrónica	-	-
Concentración	-	-	CPC

BET – Modelo Brunauer-Emmett-Teller, COC – Contador de condensación de partícula, DMA - Analizador diferencial de movilidad, NMR – Resonancia magnética nuclear, SMPS - Movilidad de escaneo de tamaño de partícula, XPS – Espectroscopia de fotoelectrones de rayos-X

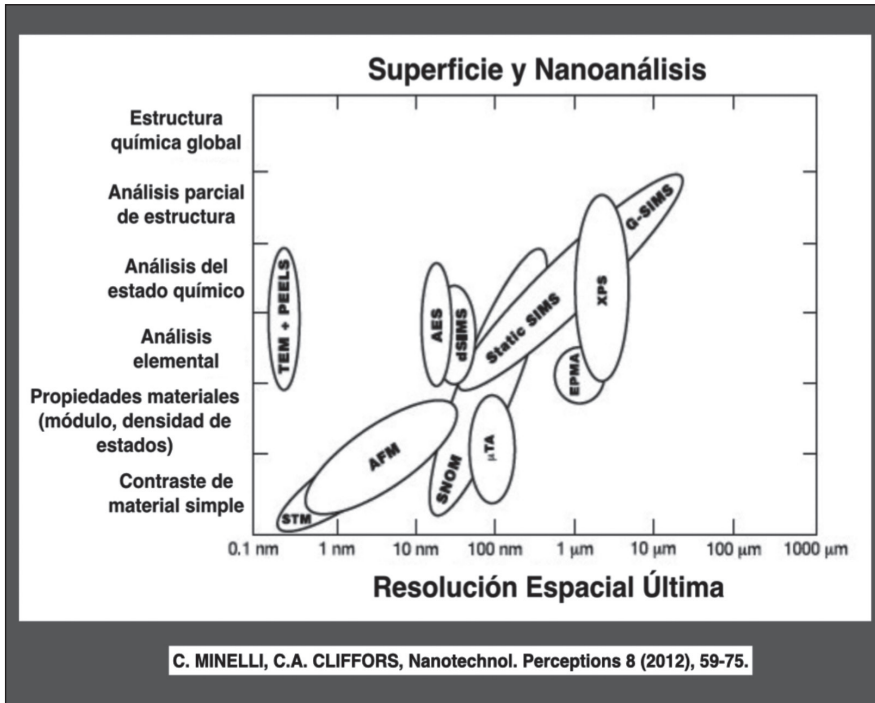
Es necesario estimar la incertidumbre de los procedimientos a nanoescala de forma previa a la adopción de decisiones basadas en la medida analítica, lo que requiere el establecimiento de rutas definidas con claridad que conduzcan desde las unidades SI en las Normas ISO hasta la medición en la muestra, permitiendo la caracterización de materiales en términos de dimensiones y de atributos como masa y propiedades eléctricas (Berger, 2011; Hansen et al., 2006; Leach et al., 2011). Esta trazabilidad metodológica (nanómetrología) establecida que comporta una mayor estandarización para permitir la calibración de equipos y la evaluación de la conformidad de nuevos productos y procesos se crea y supervisa por los organismos metrológicos pertinentes. La legislación (armonizada) centrada en la nanotecnología está experimentando un cambio a nivel mundial, ya que la estandarización deja de ser voluntaria para convertirse en obligatoria.

TABLA 8
RESOLUCIÓN ESPACIAL, VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LOS MÉTODOS
NANOANALÍTICOS (ZENOBI, 2008, p. 219)

Método	Mejor resolución espacial conseguible	Ventajas	Desventajas
PALM	10 nm	Posibles imágenes 3D Condiciones ambientales Imágenes “in vivo” a la vista	Requiere etiquetas fluorescentes especiales Fotoblanqueado de etiquetas Tiempos de adquisición elevados
STED	20 nm	Posibles imágenes 3D Condiciones ambientales Imágenes “in vivo” a la vista	Requiere etiquetas fluorescentes Fotoblanqueado de etiquetas
Infrarojo s-SNOM	10 nm	Puede facilitar huellas moleculares Libre de etiquetas Condiciones ambientales	Necesidad de IR óptico Limitado al análisis de superficie
TERS	20 nm	Puede facilitar huellas moleculares Libre de etiquetas Condiciones ambientales	Limitado al análisis de superficie Descomposición de analito inducida por campo
SIMS	100 nm	Libre de etiquetas Perfil de profundidad Elevada sensibilidad	Necesidad de un vacío ultraelevado Ionización “dura” más apropiada para análisis elemental
SNOM-MS	150 nm	Libre de etiquetas Condiciones ambientales	Límite de detección

PALM, Microscopía de localización fotoactivada; STED, Microscopía de reducción de emisión estimulada; s-SNOM, Microscopía óptica de barrido de campo cercano en modo dispersión; TERS, Espectroscopía Raman con punta mejorada; SIMS, Espectrometría de masas de iones secundarios; SNOM-MS, Microscopía óptica de barrido de campo cercano acoplada a la espectrometría de masas.

FIGURA 23
BOSQUEJO DE RESOLUCIÓN ESPACIAL DE DIFERENTES TÉCNICAS



CLASIFICACIÓN DE LOS NANOMATERIALES

Los nanomateriales pueden ser divididos en dos clases (Bundschuh et al., 2018; Gaffet, 2011; Griffin et al., 2018; Hochella et al., 2019; Heiligtas y Niederberger, 2013; Jeevanandam et al., 2018, p. 1053; Lespes et al., 2020; Ratushnyak y Semochkina, 2020; Sharma et al., 2015; Wagner et al., 2014), aquellos de origen natural (proteínas, virus, bacterias, nanopartículas producidas por erupciones volcánicas (Fig. 24) o incendios forestales, cristales nanoestructurados y minerales...), y los antropogénicos, nano-objetos consecuencia no intencionada de la actividad humana (nanopartículas producidas por la combustión de diesel o gasolina, centrales eléctricas e incineradores) o elaborados a través de un proceso de fabricación definido (Ju-Nam y Lead, 2008). La palabra “nanotecnología” hace referencia en general solo a éstos últimos.

La mayor parte de los nanomateriales de tipo común pueden ser clasificados (Fig. 25, Tabla 9) teniendo en cuenta sus dimensiones y direcciones ortogonales X, Y, Z en las que las pautas estructurales poseen dimensiones $L_{x,y,z}$ inferiores al límite nanoscópico L_0 , aunque se presentan situaciones experimentales en las que la dimensionalidad no está definida con claridad. Las nanoestructuras, con independencia de su dimensión pueden albergar una naturaleza amorfa o nanocristalina.

FIGURA 24
PROCESOS NATURALES CONDUCTENTES A LA FORMACIÓN DE NANOPARTÍCULAS
EN EL MEDIO (NPS – NANOPARTÍCULAS NATURALES; T – TEMPERATURA; O₂ -OXÍGENO)
 (SHARMA ET AL., 2015)



FIGURA 25
FORMACIÓN DE UN PUNTO CUÁNTICO CERO-DIMENSIONAL POR REDUCCIÓN DE
DIMENSIÓN, Y PÉRDIDA DE ESTRUCTURA DE BANDA Y EVOLUCIÓN DE LOS
ORBITALES ATÓMICOS/MOLECULARES (SERGEEV Y KLABUNDE, 2013, p. 295)

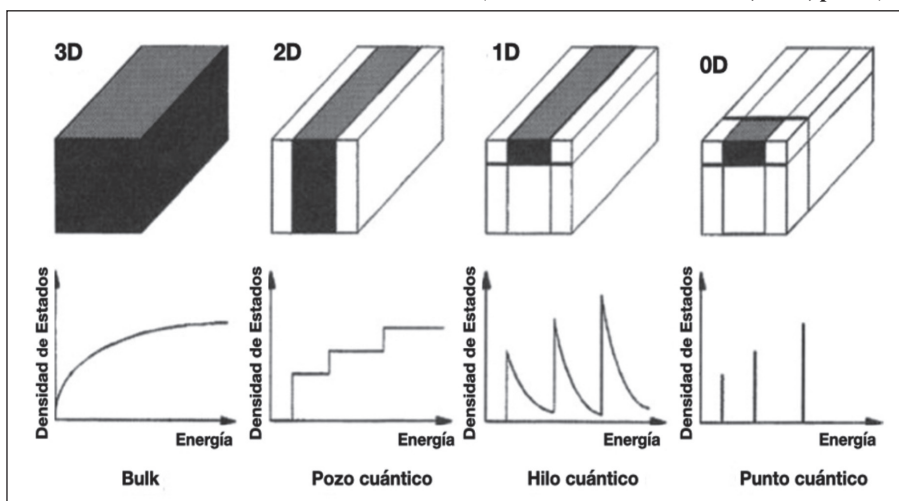
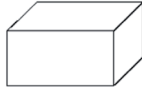
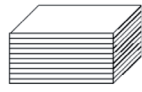
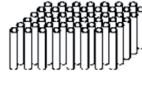
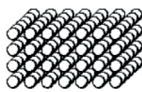


TABLA 9
DIMENSIONALIDAD Y CONFINAMIENTO ASOCIADO (SHARMA ET AL., 2016)

Dimensionalidad	Nanoestructuras	Confinamiento	Morfología	
$L_{X,Y,Z} > L_0$	Sin nanoestructura	Sin confinamiento	Material "bulk"	
$L_{X,Y} > L_0 > L_Z$	Nanoestructuras de dos dimensiones (2D)	Confinamiento de una dimensión (1D)	Pozos	
$L_X > L_0 > L_{Y,Z}$	Nanoestructuras de una dimensión (1D)	Confinamiento de dos dimensiones (2D)	Cables	
$L_0 > L_{X,Y,Z}$	Nanoestructuras de dimensión cero (0D)	Confinamiento de tres dimensiones (3D)	Puntos	

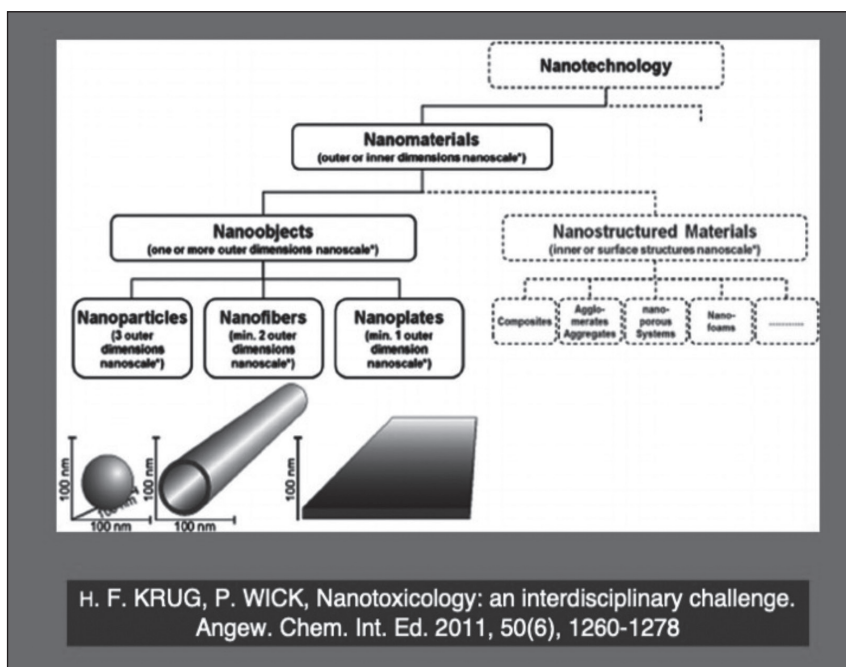
Los nanomateriales de dimensión cero (0D) exhiben confinamiento de sus electrones en las tres dimensiones espaciales; sus diámetros se encuentran en el rango de 1 a 100 nm y se clasifican en nanopartículas, nanoclusters, nanocristales o puntos cuánticos. Las nanopartículas poseen dimensiones inferiores a 10 nm y tienen una distribución de tamaño comparativamente muy grande. Las matrices reticulares bien organizadas y compuestas de subunidades constituyentes se identifican como nanocristales. Y como puntos cuánticos si son significativamente pequeñas y se observan efectos cuánticos. La subunidad aglomerada de materiales nanoestructurales no cristalinos recibe el término de nanopolvo.

Los nanomateriales unidimensionales (1-D) son aquellos en los que los electrones están confinados en dos dimensiones, pero pueden moverse libremente en una dimensión. Estos materiales incluyen principalmente nanotubos, nanovarillas, nanocables, nanocinturones o nanocintas, etc. con un tamaño en el rango de la nanoescala a lo largo de una dimensión, teniendo una apariencia de varilla o de alambre. Los nanomateriales bidimensionales (2-D) son aquellos en los que los tamaños de sus cristales están confinados en una dirección, pero se les permite expandirse en las otras dos direcciones fuera del rango de la nanoescala; tienen estructuras planas. Ejemplos de estas estructuras incluyen películas delgadas, nanoláminas, nano revestimientos, nano capas y pozos cuánticos. Las dimensiones de los nanomateriales tridimensionales (3-D) se encuentran

en el rango del nanómetro pudiendo moverse sus electrones en las tres direcciones de los ejes. Incluyen nanopuntos, nanopartículas, nanocristalitos, nanocables, nanotubos y nanocapas, etc. Dependiendo de las aplicaciones requeridas, los nanomateriales pueden estar formados por diferentes elementos: metales (nanopartículas de oro o plata, óxidos metálicos, nanopartículas de dióxido de titanio), semiconductores (silicio) o carbono (nanotubos de carbono).

La ISO clasifica (ISO, 2015a; ISO, 2015b; ISO, 2011; Krug y Wick, 2011) los nanomateriales en dos categorías (Fig. 26): nanoobjetos y materiales nanoestructurados. Un nanoobjeto es una “pieza discreta de material con una, dos o tres dimensiones externas en la nanoescala” y un material nanoestructurado un “material que tiene estructura interna o estructura de superficie en la nanoescala”. Los nanoobjetos se clasifican según su tamaño y forma en tres categorías: 1) Nanopartícula (NP): “Nanoobjeto con dimensiones externas a nanoescala donde las longitudes de los ejes más largo y más corto del nanoobjeto no difieren significativamente”; 2) Nanofibra: “Nanoobjetos con dos dimensiones externas a nanoescala y la tercera dimensión significativamente más grande” 3) Nanoplaca: “Nanoobjetos con una dimensión externa en la nanoescala y las otras dos dimensiones significativamente más grandes”. ISO también suministra una definición simple y general para nanomateriales diseñados, indicando que son “nanomateriales diseñados para propósitos o funciones específicas”. Los términos asociados con los nanomateriales se describen en la Tabla 10, y nanomateriales típicos en la Tabla 11.

FIGURA 26
CLASIFICACIÓN SEGÚN LA ISO DE LOS NANOMATERIALES



El uso del término nanopartícula hizo su aparición en los campos de la inmunología y la farmacia, antes que en el de la química (Park et al., 2021, p. 704). Kreuter et al. (1979) usaron el término para describir nanopartículas de poli(metil-2-¹⁴C-metacrilato) usado para el estudio de partículas de polímeros orgánicos para la liberación controlada de medicamentos. El uso de este término en otros campos apareció en 1992; e.g. estudio de análisis de cobre monovalente en aerosoles (Ammann et al., 1992), nanopartículas cerámicas y metálicas.

TABLA 10
DESCRIPCIÓN DE LOS VARIADOS TÉRMINOS ASOCIADOS CON NANOMATERIALES
(BAIG et AL., 2021, p. 1823)

Término	Descripción
Nanotecnología	La nanotecnología hace referencia a la tecnología al nivel de nanoescala, en la que los materiales, dispositivos o sistemas se desarrollan vía controlando la materia en la longitud de la nanoescala para estimular las propiedades únicas de los materiales al nano nivel
Nanomanufactura	La nanofactura hace referencia al nivel de la nanoescala y se lleva a cabo via métodos “bottom-up” y “top-down”
Nanoescala	Escala que cubre de 1 a 100 nm
Nanomaterial	Un material se llama nanomaterial si tiene al menos una dimensión en el rango de la nanoescala (1-100 nm)
Nanoobjeto	Un nanoobjeto es una pieza discreta de material con una, dos, o tres dimensiones externas en el rango de la nanoescala
Nanopartícula	Un objeto o partícula se llama nanopartícula cuando todas sus dimensiones se encuentran en el rango de la nanoescala
Razón de aspecto	La razón de aspecto de un nanoobjeto se define como el cociente de la longitud del eje mayor a la anchura del eje menor
Nanoesfera	Una nanoesfera es una nanopartícula que tiene una razón de aspecto igual a la unidad
Nanobarra	El término nanobarra se usa cuando los ejes más corto y más largo tienen diferentes longitudes. Las nanobarras tienen una anchura en el rango de 1 a 100 nm y una razón de aspecto > 1
Nanofibra	Un nanoobjeto con dos dimensiones en el rango de la nanoescala y una tercera dimensión que es significativamente mayor
Nanoalambre	Los nanoalambres son análogos a las nanobarras, pero con una mayor razón de aspecto
Nanotubo	Se llama nanotubos a las nanofibras huecas
Material nanoestructurado	Este término se usa para los materiales que tienen elementos estructurales, moléculas, cristalitas, o clusters con dimensiones en el rango de 1 a 100 nm
Nanomaterial	Un material se llama nanomaterial si tiene al menos una dimensión en el rango de 1-100 nm
Nanomateriales ingenieriles	Se llaman materiales ingenieriles a los materiales producidos intencionadamente que tienen una o más dimensiones en el orden de los 100 nm o menor
Nanocomposite	Los “nanocomposites” se definen como materiales multicomponentes con diferentes dominios de fase, en los que al menos una de las fases tiene una dimensión en el orden de los nanómetros

TABLA 11
NANOMATERIALES TÍPICOS (RAO Y CHEETHAM, 2001, p. 2887;
RAO ET AL., 2004, VOL 1, p.2)

Nanomateriales	Tamaño (aprox.)	Materiales
Nanocristales y cluster (puntos cuánticos: QDs)	Diámetro 1-10 nm	Metales, semiconductores, materiales magnéticos
Otras nanopartículas	Diámetro 1-100 nm	Oxidos cerámicos
Nanoalambres (NWs)	Diámetro 1-100 nm	Metales, semiconductores, óxidos, sulfuros, nitrilos
Nanotubos	Diámetro 1-100 nm	Carbon, metales calcogénidos en capas
Nanotubos poliméricos	Diámetro 20-200 nm	PPy; PANY; 1,2-DAB ^a
Nanocomposites	Diámetro 20-200 nm	PPy; PANY, DAB/ nanotubos; nanopartículas ^b
Arreglos 2-dimensionales (de nanopartículas)	Varios nm ² -µm ²	Metales, semiconductores, materiales magnéticos
Superficies y películas delgadas)	Espesor 1-1000 nm	Variados materiales
Estructuras tridimensionales (superredes)	Varios nm en las tres dimensiones	Metales, semiconductores, materiales magnéticos

^aPPy: poli(pirrol); PANY: poli(anilina); DAB: (diaminobenceno).

^bNanotubos y nanopartículas as agentes dopantes

ENCAPSULAMIENTO DE FÁRMACOS: LIPOSOMAS Y DENDRÍMEROS

El problema con algunos fármacos es que deben administrarse en dosis elevadas para alcanzar un efecto terapéutico positivo, dada su escasa biodisponibilidad, aunque las dosis más altas suelen provocar efectos secundarios no deseados. La nanotecnología podría ayudar a superar las limitaciones de la liberación convencional, desde problemas a gran escala como la biodistribución hasta barreras a menor escala como el tráfico intracelular, a través de la selección de células específicas, el transporte molecular a orgánulos específicos y otros enfoques (Calabretta et al., 2020; Chauan, 2018; Mintzer y Grinstaff, 2011; Mitchell et al., 2021).

En las últimas décadas, el estudio se ha dirigido a los sistemas de administración controlados, e.g. micelas, liposomas y nanopartículas poliméricas (Fig. 27) (Bolu et al, 2018; Bulbake et al., 2017; Filipczak et al., 2020; Zylberberg y Matosevich, 2016). Para cumplir sus objetivos estos sistemas deben satisfacer ciertos requisitos como tamaño de nanoescala, biocompatibilidad, biorreabsorción, solubilidad en agua y estructura monodispersa. Durante las últimas décadas, la “Food and Drug Administration” (FDA) de EE. UU. ha aprobado la comercialización de un centenar de aplicaciones y productos de nanomedicina (Farjadian et al., 2019; Gadekar et al., 2021). Esto muestra que la nanotecnología está desempeñando un papel notorio en la ciencia biomédica actual. Durante todas las etapas del proceso de descubrimiento y de comercialización de los

medicamentos, es importante la materialización de patentes para asegurar la propiedad intelectual de los inventores y las empresas, y el ahorro de dinero, evitando también la pérdida de tiempo en juicios, o incluso la pérdida de casos en los tribunales. Desde mediados de la década de los 90, la FDA ha aprobado un promedio de ~ 13 nanomedicinas para indicaciones clínicas específicas por período de 5 años. Esto incluye la aprobación de nuevos materiales (51 productos únicos) y de materiales aprobados para nuevas indicaciones clínicas (e.g. el Abraxane® ha sido aprobado para varias indicaciones diferentes).

La lista está dominada por nanopartículas liposomales y poliméricas, que representaron la mayoría de las nanomedicinas aprobadas en la década de 1990. Las aprobaciones alcanzaron su punto máximo en el período 2001-2005, con una caída posterior hasta 2008, tendencia quizás relacionada con las limitaciones de financiación asociadas con la crisis financiera mundial de 2008 (Bobo et al., 2016). Los nanomateriales tienen ciertas propiedades que los hacen adecuados para una variedad de aplicaciones clínicas. Uno de los principales beneficios de las nanopartículas es su pequeño tamaño, de 10 a 200 nm, que les permite circular por el cuerpo sin interrumpir el flujo sanguíneo, además de poder evitar el aclaramiento tanto renal como de sistemas complementarios (Foulkes et al., 2020).

El biofísico y hematólogo británico Alex Douglas Bangham (1921-2010) (Bangham, 1989; Düzgünes y Gregoriadis, 2005; Watts, 2010), en el “Agricultural Research Council Institute of Animal Physiology” de Babraham (Bangham, 1993), Universidad de Cambridge, descubre los liposomas en 1961 (Bangham y Horne, 1964; Bangham et al., 1965; Weissig, 2017). Bangham y Horne describen en 1964 “electron microscopic observations of phosphatidylcholine (lecithin) or its mixtures with cholesterol dispersed in water and stained with a 2 % solution of potassium phosphotungstate” (Düzgünes y Gregoriadis, 2005, p. 1). Un año más tarde, en 1965 informan que “the diffusion of univalent cations and anions out spontaneously formed liquid crystals of lecithin is remarkably similar to the diffusion of such ions across biological membranes” (Düzgünes y Gregoriadis, 2005, p. 1).

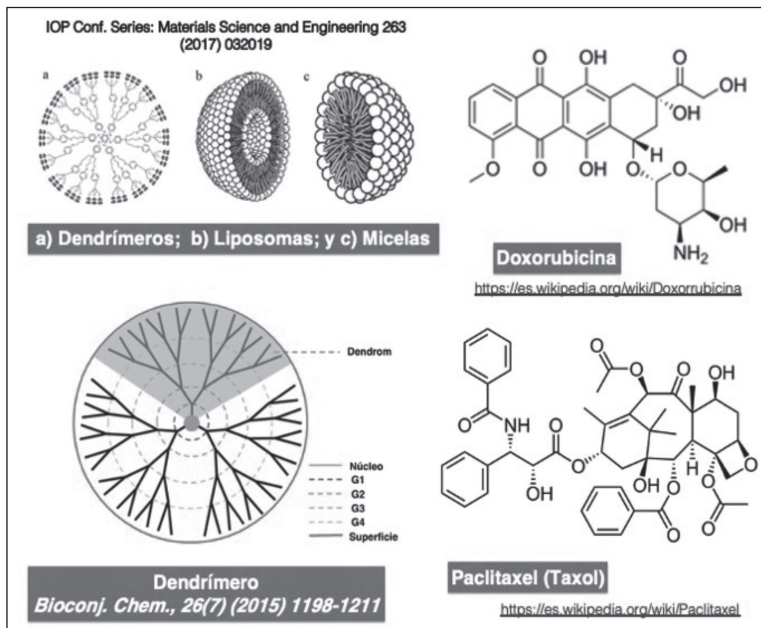
El interés de Bangham en las membranas celulares se desarrolló en la década de los 50, antes del descubrimiento clave de que las moléculas de fosfolípidos dispersas en el agua podían organizarse en forma de doble capa semejante a la estructura de estas membranas. De aquí, surge la idea un modelo para estudiar las membranas, y quizás también la de su propuesta como un vehículo para administrar medicamentos y otros materiales a la célula, posibilidades ambas realizables (Watts, 2010).

Los liposomas son vesículas artificiales con estructuras próximas a coloides consistentes en una o más esferas de bicapas lipídicas albergando compartimentos acuosos, por lo que pueden transportar (Bozzuto y Molinari, 2015) compuestos tanto de carácter hidrofílico como lipofílico. Su nombre deriva (Bozzuto y Molinari, 2015; Daraee et al., 2016; Düzgünes y Gregoriadis, 2005; Jesorka y Orwar, 2008; Liu et al., 2021; Sim y Wong, 2021; Vargason et al., 2021) de las palabras griegas “lipos” grasa, y “soma”, cuerpo.

Los liposomas de uso médico poseen un tamaño en el rango de 50 a 450 nm, utilizándose en su síntesis inicialmente fosfolípidos y derivados del colesterol como agentes surfactantes. Su eficacia depende de la naturaleza de sus componentes, y de su tamaño, superficie, carga y organización lipídica. Los liposomas pueden ser objeto del proceso analítico, o usarse como herramienta, componente o dispositivo en aplicaciones analíticas. En este último sentido se identifican principalmente cuatro áreas de actividad: cromatografía líquida, electroforesis capilar, inmunoensayos y biosensores (Liu et al., 2021).

Los intentos para disminuir la cardiotoxicidad de las antraciclinas por encapsulamiento en liposomas comenzaron a fines de los 70. En la década posterior, la de los 80, tres compañías estadounidenses (Weissig et al., 2014, p. 4357) emergentes: “Vestar” en Pasadena, “The Liposome Company” en Princeton, y “Liposome Technology Inc.” en Menlo Park compiten para poner en el mercado tres diferentes formulaciones liposomales de antraciclina. El año 1995 la FDA aprueba el primer nanomedicamento salido al mercado, el Doxil® formulación liposomal de la doxorubicina (antibiótico de la familia de las antraciclinas, intercalante del ADN, usado en la quimioterapia del cáncer), también conocida como Caelix®, Evacet® y Lipodox® (Asuero, 2021). La compañía farmacéutica hindú “Sun Pharma Global FZE” es líder en la manufactura de la primera generación de doxil inyectable a partir de clohidrato de doxorubicina incorporada en liposomas, recibiendo la aprobación de la FDA en 2013 (Asuero, 2021).

FIGURA 27
NANOPARTÍCULAS ORGÁNICAS (DENDRÍMEROS, LIPOSOMAS, MICELAS) Y ESTRUCTURA QUÍMICA DE LA DOXORUBICINA Y DEL PACLITAXEL (TAXOL)



Los dendrímeros (Hawker y Frechet, 1990; Moorefield et al., 2013; Svenson y Tomalia, 2005; Romalia y Frechet, 2002), compuestos complejos y simétricos de estructura tridimensional bien definida con elevada ramificación y perfecta monodispersión, obtenidos (Tomalia et al., 1985) a principio de los 80 por los grupos de Donald A. Tomaglia (1938-), Dow Chemical Company, y George R. Newkome (1938-), Universidad del Estado de Luisiana, químicos norteamericanos), han sido una de las nanoestructuras sintéticas más estudiadas en los últimos veinte años (Leiro et al., 2015; Mignani et al., 2020; Tomalia, 2018; Wu et al., 2015). Las estructuras dendríticas provienen de una nueva clase de polímeros altamente ramificados, sintetizados por primera vez por Fritz Voegtle (1939-2017) et al., de la Universidad de Bonn en 1978, y acuñados como “moléculas en cascada”. “When Tomalia first proposed building polymers with an ordered, predictable branching structure, his colleagues at the Dow Chemical Company greeted him with skepticism since polymers typically run like linear chains and are chaotic” (Science History Institute, n.d.).

El nivel de complejidad de estas moléculas ramificadas se incrementa dando lugar a largas estructuras que se renombran como “dendrímeros” (Leiro et al., 2015). El vocablo proviene del griego “dendro” árbol. “Dendrimers can be envisioned by considering a core possessing multiple arms, where each arm or branch is subsequently connected to a preconstructed branched building block (or dendron, adopted from the *synthon* terminology) giving rise to an initial layer or generation. Repetition of the building block layering produces the next higher generation dendrimer” (Moorefield et al., 2013).

El elevado control sobre su arquitectura convierte a estos materiales en idóneos para el traslado y liberación de principios activos de interés terapéutico (Bensaude-Vincent y Loeve, 2014; Darae et al., 2016; de Araujo et al., 2018; Duan et al., 2015; Gomez-Henz y Fernandez Romero, 2006; Mignani et al., 2021; Sim y Wong, 2021; Vargason et al., 2021; Wu et al., 2015;), el diagnóstico de imagen y la transfección génica (Assali, 2012, p. 10). De entre los medicamentos encapsulados de este tipo se tienen (Assali, 2012, p. 10; Sim y Wong, 2021) entre otros el cisplatino, la doxorubicina o adriamicina, el metotrexato, y el 5-fluoruracilo (agentes anticancerosos), el ibuprofeno (antiinflamatorio) y la nifedipina (hipertensivo arterial).

El concepto de crecimiento repetitivo con ramificación (Tomalia y Frechet, 2002) fue expresado por primera vez por Buhleier et al. (1978), de la Universidad de Bonn, Alemania, aplicándolo a la construcción de aminas de bajo peso molecular. Se sigue por el desarrollo paralelo e independiente de la síntesis macromolecular divergente de “dendrímeros verdaderos” por el grupo de Tomalia. El primer artículo que utiliza el término “dendrímero” y describe con gran detalle (Tomaglia y Frechet, 2002) la preparación de dendrímeros de poli (amidoamina) (PAMAM) se presenta en 1984 en la 1ª Conferencia Internacional de Polímeros, “Society of Polymer Science, Japan” (SPSJ). Luego se publicó también en 1985 una comunicación en la que se informa sobre la síntesis de arboroles por Newkome et al (1985).

En 2005 se fabricó, comercializó y lanzó al mercado (Chen et al., 2016; Sim y Wong, 2021; Weissig, 2014) el Abraxane™, material nanoparticulado (130 nm) de albúmina sérica humana que contiene paclitaxel (taxol), fármaco utilizado (Chen et al., 2013;

Chen et al., 2016a; Chen et al., 2016b; Sim y Wong, 2021; Weissig, 2014; Wessig, 2015) en el tratamiento del cáncer. El taxol, presente en la corteza del tejo del Pacífico es aislado (ACS, 2003) en 1968 por Monroe Eliot Wall (1916-2002) y Mansukh C. Wani (1925-2020) del Instituto de Investigación Triángulo en Carolina del Norte, determinando su estructura en 1970 (Wani et al., 1971).

APROXIMACIONES TOP DOWN Y BOTTOM UP

La aproximación a la nanoescala puede efectuarse (Fig. 28 y 29, Table 12) desde dos extremos: i) top-down, enfoque descendente o de reducción de escala, y ii) bottom-up, enfoque ascendente, aumento de escala a partir de pequeños bloques de construcción. La contribución del químico a las nanotecnologías se centra en el enfoque ascendente, consistente en el autoensamblaje de objetos funcionalizados a partir de precursores elementales, para diseñar materiales nanoestructurados. Se han desarrollado variados métodos de síntesis de nanopartículas y nanomateriales de tamaño, forma y composición controlados, siguiendo la estrategia ascendente “bottom-up”; la formación de las nanopartículas se origina desde el nivel atómico al nivel de la nanoescala. En combinación con técnicas de síntesis química, el enfoque ascendente permite el ensamblaje 1D, 2D o 3D de nanopartículas para diseñar materiales nanoestructurados. Gracias a esto la nanociencia y la nanotecnología muestran un rápido desarrollo. “One thing is certain: the bottom-up approach has attractive advantages over its rival when considering Nature’s biomachines” (Ozin et al., 2015, p. 3012).

En “Fantastic Voyage” (Viaje Alucinante)” dirigida en 1966 por Richard Fleischer (1916-2006) con música de Leonard Rosenman (1924-2008), se miniaturiza un pequeño sumergible y todo un equipo humano a tamaño de micrones para viajar a través de las arterias de un paciente y operar desde el interior. La presencia de Raquel Welch (1940-), sobrenombre de Raquel Jo Tejada, incluso en la millonésima escala de un metro, no ha sido neutral en el éxito de esta película (Jacquesy, 2012). Este sería el prototipo ideal de enfoque descendente, “de arriba a abajo”. El guion de la película sirvió de base a una novela de Isaac Asimov (1920-1992) con el mismo título publicada seis meses antes de su estreno, a una serie de dibujos animados y a un cuadro de Salvador Felipe Jacinto Dalí i Domènech (1904-1989). Asimov y Heinlein, americanos, y Arthur Clarke (1917-2002), británico, son las tres grandes estrellas del género de ciencia ficción.

APLICACIONES PRÁCTICAS

La afirmación de que la química es una ciencia central en la nanotecnología se ve reforzada por los campos relacionados con la ciencia coloidal y la tecnología de los polvos. Las aplicaciones de nanopartículas y nanomateriales son muy prometedoras en muchas áreas: electrónica, catálisis, fotocatalisis, óptica, biología y medicina. En el ámbito médico, las nanopartículas minerales u orgánicas encuentran aplicaciones en la

FIGURA 28
 PROCESO DE SÍNTESIS (EALIAS Y SARAVANAKUMAR, 2017, p. 4/15)

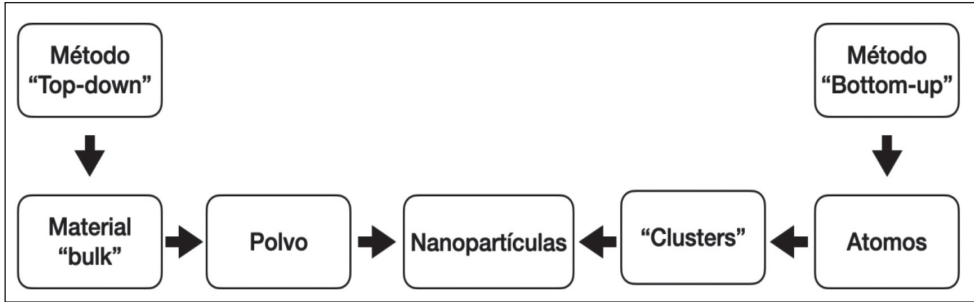


FIGURA 29
 CONCEPTO DE TECNOLOGÍA BOTTOM-UP Y TOW-DOWN: DIFERENTES MÉTODOS DE SÍNTESIS DE NANOPARTÍCULAS (BAYDA ET AL., 2020, p. 2/15)

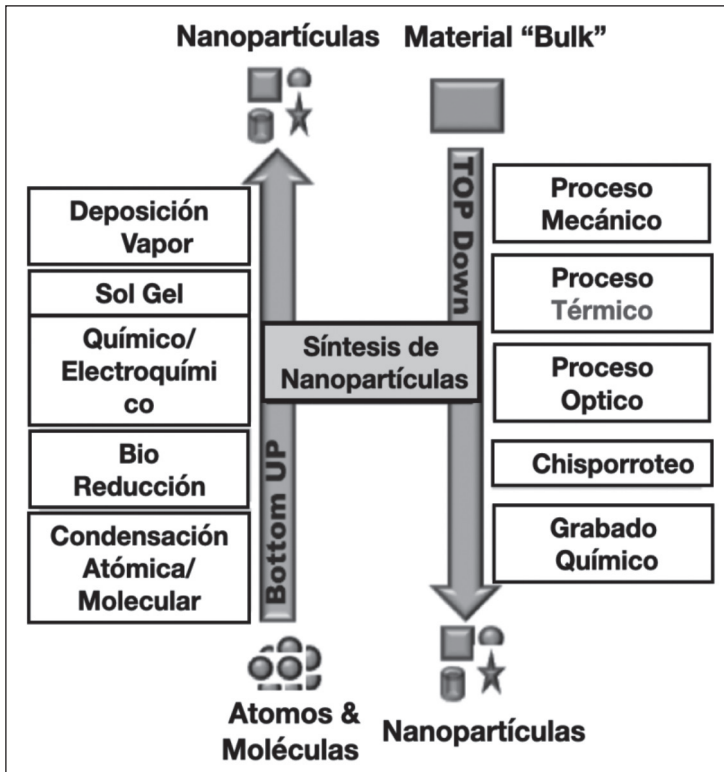


TABLA 12
CATEGORÍAS DE NANOPARTÍCULAS SINTETIZADAS POR VARIOS MÉTODOS (EALIAS
Y SARAVANAKUMAR, 2017, p. 6/15)

Categoría	Método	Nanopartículas
Bottom-up	Sol-gel Rotación Deposición química de vapor* Pirólisis Biosíntesis	Carbón, metal y óxido metálico Polímeros orgánicos Carbon y basado en metal Carbón y óxido basado en metal Polímeros orgánicos y base metal
Top-down	Molienda mecánica Nanolitografía Ablación por láser Chisporroteo Descomposición térmica	Metal, óxido y basado en polímero Basado en metal Basado en carbon y en óxido metálico Basado en metal Carbon y basado en óxido metálico

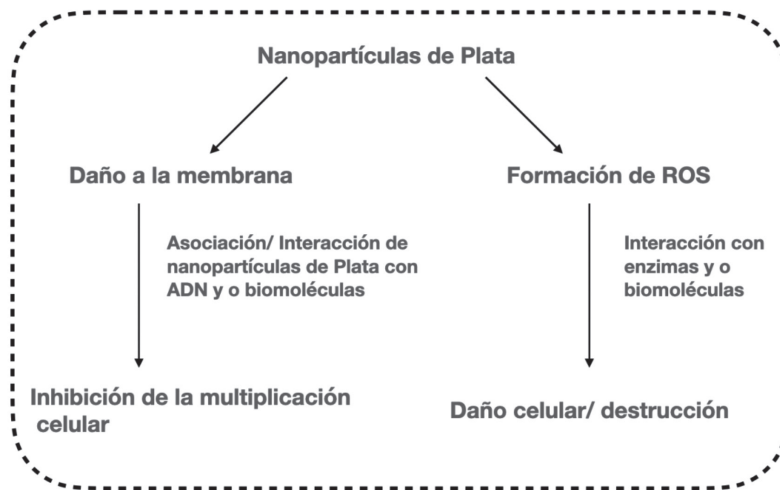
*CVD

formación de imágenes ópticas o magnéticas, en la terapia con el uso de la liberación controlada y en vehicular (“vectorization”) fármacos (Gref y Couvreur, 2011).

El dióxido de titanio (TiO_2), el dióxido de silicio (SiO_2) y el óxido de zinc (ZnO) son los nanomateriales que se producen en mayor escala a nivel mundial. La producción anual mundial de nanopartículas de plata, Ag, supone tan solo el 2% de la de TiO_2 . No obstante, de todas las nanopartículas desarrolladas y caracterizadas hasta hoy día, las nanopartículas de Ag asumen una posición predominante, utilizándose en imágenes nanomédicas, biodetección y productos alimenticios. Las nanopartículas de plata y la Ag (Keat et al., 2015; Nowachet et al., 2011) ocupan una posición destacada en la serie de metales que se utilizan como agentes antimicrobianos desde tiempo ancestrales. Es la liberación de iones de plata debido a la desestabilización de las nanopartículas lo que les confiere tales propiedades (Fig. 30). Se utilizan en catéteres implantados quirúrgicamente para reducir las infecciones causadas durante las operaciones quirúrgicas.

El seguimiento de su propagación en la naturaleza y la valoración de su toxicidad potencial nos permite abordar los posibles problemas consiguientes de salud y de respeto al medio ambiente (ACS, 2011; Ahn et al., 2016; Arancon et al., 2014; Bakshi et al., 2015; Barboux et al., 2010; Buvea et al., 2007; Dekkers et al., 2016; Krug y Wick, 2011; Ganascia, 2011; Hannah y Thompson, 2008; Joet et al., 2016; Khan et al., 2019; Maurer-Jones et al., 2013; Senjen y Janden, 2011; Wiesner y Botero, 2011). La Comisión de la Unión Europea (UE) y la Agencia de Protección Ambiental (EPA) de EE. UU. han subrayado la necesidad de comprender los riesgos ecológicos y sanitarios de la nanotecnología. El análisis de estas nanopartículas no supone solo una preocupación social sino también un requisito legal (Lacour, 2011). La producción y utilización de estos materiales de manera responsable y sostenible incluye evidentemente la evaluación de riesgos. Los ensayos físico-químicos a realizar sobre las nanopartículas muestran en la Tabla 13.

FIGURA 30
MECANISMO DE ACCIÓN DE LAS NANOPARTÍCULAS DE PLATA FRENTE A
LAS CÉLULAS BACTERIANAS (SIDDIQUI ET AL., 2018, P 20/28)



INFORME NBIC Y TRANSHUMANISMO

El informe NBIC 2003 (Nanotecnología, biotecnología, tecnología de la información y ciencia cognitiva) de la “National Science Foundation” proclamó (Fig. 31) un “renacimiento” disciplinario en la ciencia debido a la permeabilidad de los límites entre la física, la química, la biología, la informática y la ciencia cognitiva a nanoescala (Bainbridge y Roco, 2005; Jha et al., 2014; López, 2004; MIT, 2011; Roco, 2002; Roco, 2020; Roco y Bainbridge, 2003; Roco y Bainbridge, 2013; Roco et al., 2013). La clásica división de la ciencia moderna en disciplinas y subdisciplinas (ramas) separadas e independientes resultaría así contrarrestada por la fertilización cruzada entre las diferentes disciplinas implicadas en la investigación a nano escala. El rápido progreso resultante de esta convergencia - se aventuraba en dicho informe- daría lugar a avances tecnológicos extremadamente importantes para la industria y contribuiría a la mejora del desempeño humano individual y colectivamente. Este último aspecto, objeto de un gran debate público, se omitió finalmente del informe con el paso de los años.

El transhumanismo consiste en una ideología, movimiento o sistema de creencias que predice y mira hacia un futuro en el que se contempla una creciente integración de la tecnología con los seres humanos, conduciendo este resultado a un cambio de carácter cualitativo y positivo (Jones, 2016). Se parte de la situación actual en la que mediante el uso creciente de la tecnología se pueden corregir ciertas discapacidades y defectos humanos, tendiéndose a un mundo en el que el ser humano y la máquina se integran (cyborg-existencia). Finalmente, podemos dejar atrás todo rastro de nuestro pasado biológico, ya que los seres humanos “cargan” su inteligencia en computadoras poderosas. Estas ideas están íntimamente conectadas con la idea de una “singularidad”,

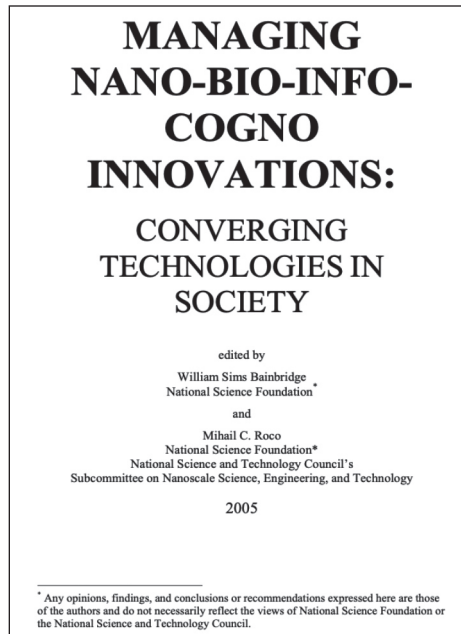
TABLA 13
LISTADO DE PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS CRÍTICOS Y NATURALEZA DE LOS ENSAYOS A REALIZAR A FIN DE DETERMINAR LA PELIGROSIDAD DE LAS NANOPARTÍCULAS DE INTERÉS (OCDE/WPMN) (GAFFET, 2011)

<p><i>Propiedades y caracterización físico-química de los nanomateriales</i> Aglomeración/agregación Solubilidad en agua Fase cristalina Liberación de partículas (de polvo) Tamaño de cristalitas Observación por microcopio electrónico en transmisión Distribución de tamaño de partículas</p> <p>Superficie específica</p> <p>Potencial zeta (carga superficial) Química superficial (de ser necesaria) Actividad fotocatalítica</p> <p>Rugosidad Porosidad Coeficiente de reparto octanol/agua Potencial RedOx Potencial de formación de radicales Otras informaciones pertinentes</p>	<p><i>Comportamiento en el medio</i> Estabilidad de la dispersión en agua Degradación biótica Biodegradabilidad Simulación nivel de biodegradabilidad Ensayo en ecosistema simulado Ensayo sobre sedimentos</p> <p>Ensayo de tratamiento por las estaciones de depuración Naturaleza de los productos de degradación Otros ensayos de degradación Degradación y devenir Hidrólisis de nanomateriales modificados en superficie Adsorción-desorción Adsorción en los suelos y/ o sedimentos Bioacumulación Otros datos pertinentes</p>
<p><i>Eco-toxicidad</i> Efecto sobre las especies pelágicas Efecto sobre las especies sedimentarias Efecto sobre el sol Efecto sobre las especies terrestres Efecto sobre los microorganismos Otras informaciones pertinentes</p>	<p><i>Seguridad de los materiales</i> Si es disponible: Riesgo de inflamación Riesgo de explosión Incompatibilidad química</p>
<p><i>Toxicología de mamíferos</i> Farmacocinética (ADME) Toxicidad aguda Toxicidad de dosis repetidas</p> <p><i>Si son disponibles</i> Toxicidad crónica Reprotoxicidad Toxicidad desarrollable Genotoxicidad Exposición humana Otros datos pertinentes</p>	

un momento en el que el cambio tecnológico acelerado se vuelve tan rápido que pasamos a través de un “horizonte de sucesos” hacia un futuro radicalmente incognoscible. Según Kurzweil (2005), este evento tendrá lugar en o alrededor de 2045.

La idea del transhumanismo está asociada con tres avances tecnológicos previstos. El primero es la visión de una nanotecnología radical como la esbozada por K. Eric Drexler, en la que la materia se digitaliza eficazmente, con “compiladores de materia” o “ensambladores moleculares” capaces de construir cualquier objeto con precisión atómica. Esta será la ruta hacia el fin de la escasez y el control total sobre el mundo material. El segundo es una convicción, expresada con fuerza por Aubrey David Nicholas Jasper de Gray (1963-), gerontólogo biomédico inglés formado en la Universidad de Cambridge, de que en breve será posible extender radicalmente la esperanza de vida humana, eliminando de hecho el envejecimiento y la muerte. La tercera es la creencia de que el crecimiento exponencial de la potencia informática que implica la ley de Moore continuará y se acelerará con la llegada de la nanotecnología avanzada, lo que hace que la llegada de la inteligencia artificial a nivel sobrehumano sea inevitable e inminente.

FIGURA 31
INFORME NBIC 2003 (NANOTECNOLOGÍA, BIOTECNOLOGÍA, TECNOLOGÍA DE LA INFORMACIÓN Y CIENCIA COGNITIVA DE LA “NATIONAL SCIENCE FOUNDATION”



La convergencia entre el conocimiento y la tecnología ha sido identificada como un campo emergente en todo el mundo (Schummer, 2004), con acciones específicas recomendadas para acelerar el progreso y beneficios tan pronto como sea posible. El

programa HORIZON de la UE ha usado principios de convergencia y fue objeto de deliberaciones en “Workshops” previos (Roco y Bainbridge, 2013). “A substantial increase in both inter and multidisciplinary interactions has occurred in recent years. There are vital to allowing cross-fertilization between scientific disciplines, which give rise to disruptive technological advantages” (Nelson et al., 2020, 11.17). Como indica Smalley “Basic sciences like physics and chemistry were at the core of nanotechnology (McCray, 2005, p. 189).

Diversos programas sobre el impacto ético, legal y social de la nanotecnología han posibilitado nuevas oportunidades en el campo de las humanidades. Se ha generado una mini industria en torno a este modelo de (bio)tecnología con cientos de publicaciones, una sociedad S.Net (Sociedad para los Estudios de Tecnologías Nuevas y Emergentes) y una revista “NanoEthics: Ethics for Technologies that Converge at the Nanoscale”, fundada en 2007 con un filósofo australiano John Frederick Weckert (1944-) como primer editor. NanoEthics suministra un marco para la discusión de los problemas planteados por las tecnologías que convergen en la nanoescala. La formación de equipos multicdisciplinarios para acometer los proyectos en el campo de la nano investigación ha originado el surgimiento de nuevos dominios como la bioinformática, la nanofotónica y la espintrónica (Karmakar et al, 2011), entendidas como subdisciplinas de la física. La nanoinvestigación parece haber fortalecido las afiliaciones disciplinarias.

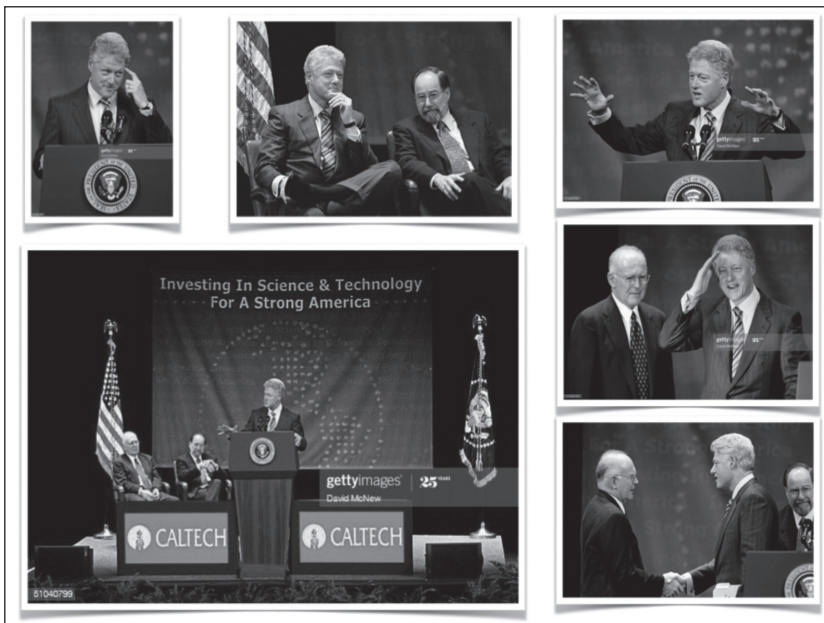
La nanotecnología ha sido instrumentalizada por los biólogos para realizar su propia investigación biomédica, como lo ilustra el caso de la ingeniería de tejidos, o para articular sus propios sueños, como se hace patente en el área de la biología sintética (Bensaude-Vincent, 2009a; Ujeda, 2019). El programa BioBrick ejemplo de enfoque ascendente (desde los ladrillos a los módulos y luego a los sistemas) combina la tecnología de la información con la biología molecular (Bensaude-Vincent, 2019) y ha sido la fuerza motriz responsable de la promoción de la biología sintética (Bensaude-Vincent, 2009a). Sus partidarios consideran este campo una rama de la biología (Ujeda, 2019), distanciándose por tanto del programa NBIC (que distorsiona y simplifica demasiado el complejo proceso de interacción entre biología, química e ingeniería informática). Se ha asistido aparentemente, en parte, a una dinámica centrípeta en la nanoinvestigación en vez de a una convergencia de las diversas disciplinas concurrentes.

INICIATIVA NACIONAL DE NANOTECNOLOGÍA

Las expectativas de las ventajas que pueden proporcionar las tecnologías disruptivas atraen a emprendedores científicos que crean sus propias empresas nuevas, así como a grupos industriales más grandes y mejor establecidos, aunque el dinero público sigue siendo la principal fuente de financiación. Fue William Jepherson “Bil” Clinton (1946-) (The White House, 2000; McGray, 2005) quien lanzó la primera “Iniciativa Nacional de Nanotecnología”, generosamente financiada al final de su mandato (Roco, 2007; Loeve, 2010, p. 4).

En la Fig. 32 vemos a Clinton con David Baltimore (1938-), biólogo, Premio Nobel de Fisiología o Medicina a los 37 años, en parte gracias al descubrimiento del médico y científico español Ysidro Valladares Sánchez (1927-2011), del Consejo, de que el ARN puede ser transcrito a ADN por una enzima (la transcriptasa inversa), paso necesario en la aplicación de la técnica de PCR de secuenciación genética; y de Gordon Moore del que ya hemos hablado previamente. En la Fig. 33 se muestra la alocución pronunciada por Clinton en Caltech. Tres años más tarde el presidente George Walker Bush (1946-) firmó la “21th Century Nanotechnology Research and Development Act”.

FIGURA 32
BILL CLINTON EN EL INSTITUTO TECNOLÓGICO DE CALIFORNIA (CALTECH)
EN ENERO DE 2000

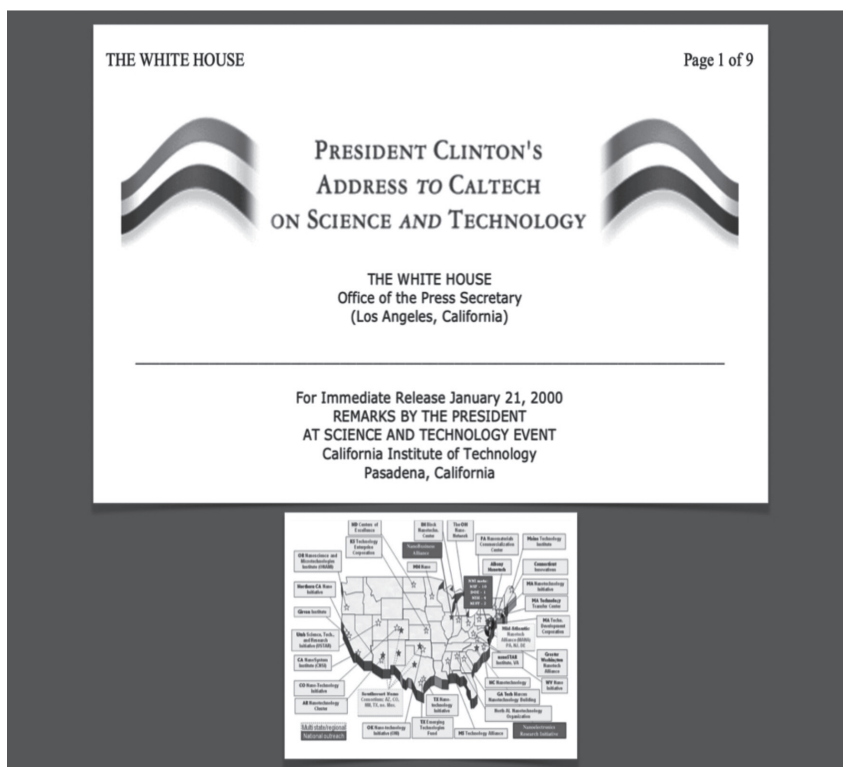


La Iniciativa Nacional de Nanotecnología abarcaba a 20 departamentos federales y agencias independientes colaborando juntas compartiendo la visión de “a future in which the ability to understand and control matter at the nanoscale leads to a revolution in technology and industry that benefits society”. La oficina de política científica y tecnológica de la Casa Blanca identificó en 2001 la nanotecnología como una de las 11 áreas de Investigación y Desarrollo en las que “important national efforts requiring co-ordinated investments across several agencies”.

La legislación hace de la nanotecnología una prioridad nacional creando la “National Technology Initiative” (NTI) (Hulla et al., 2015, p. 1318) y la “National Genome Initiative” (National Science and Technology Council, 2013; National Science and Te-

chnology Council, 2011; de Pablo, 2019). La Iniciativa Nacional de Nanotecnología ha adoptado el 9 de octubre como día nacional de la nanotecnología (ACS, 2012; Alshahateet, 2019), recomendando a diversos agentes la realización de variadas actividades de divulgación. La fecha se inspira en la escala del nanómetro, 10^{-9} metros, bajando el exponente, 10^{-9} (en inglés se coloca el mes delante, nueve del diez), dando comienzo en el 2016. En España e Iberoamérica se adopta como dicho día el 10 de septiembre (diez del nueve).

FIGURA 33
ALOCUCIÓN DEL PRESIDENTE BILL CLINTON SOBRE CIENCIA Y TECNOLOGÍA
EN EL CALTECH ENERO 2000



En 2012, la “American Chemical Society” (ACS) había dedicado la semana de la química a la “Nanotecnología, la GRAN y más pequeña idea de la ciencia” (Fig. 34). El día nacional de la química se celebró por primera vez en 1987 promovido por George Pimentel (Kauffman, 1999; Pimentel, 2015). En 1989 se extendió el evento con carácter bianual a una semana completa, y a partir de 1993 se conmemora cada año (a finales de octubre). El día del mol “Mole Day” se encuentra integrado en la semana nacional de la química. El día mundial de la metrología es el 20 de mayo (Marquardt, 2019).

FIGURA 34
DÍA NACIONAL DE LA NANOTECNOLOGÍA Y DÍA DE LA QUÍMICA

National Nanotechnology Initiative
 9 octubre dia nacional de la nanotecnología (2016) : $1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$

Día Nacional de la Química: 1987 (Pimentel)
 1989: semana completa (bianual); 1993: anual
 Mole day (integrado en la semana):
 Maurice Lee Oehler - 1991
 23 octubre de 6:02 a.m. a 6:02 p.m.
 6:02 10/23 $N_A = 6,02 \cdot 10^{23}$

Dia de la química (España): 15 de noviembre
 (Festividad de San Alberto)
 2002: Foro Química y Sociedad
 19 noviembre 2020 Foro Virtual Expoquimia:
 "Química para afrontar el COVID-19:
 desafíos de una nueva era"

La capacidad de analizar nanoparticulas se desarrolla a la par que la fabricación de éstas. Esto significa que para fabricar materiales reproducibles para el análisis, es fundamental poder realizar análisis a escala nanométrica

CONSIDERACIONES FINALES: NANOANALÍTICA

Para ir finalizando, el Premio Nobel de Química 2016 otorgado a Stoddart, Sauvage y Feringa fortalece con firmeza la autoridad de los químicos sobre el nanomundo (Bensaude-Vincent, 2019). Los galardonados insisten en que para sintetizar catenos, rotaxanos, interruptores y transbordadores (enfoque ascendente) solo usan los recursos de la química, en particular las plantillas y la topología molecular. "Perhaps Drexler's radical predictions will turn out to be accurate after all" (Moses y Chirikjian, 2020, p. 11). "Longer term, Drexler, Peterson and Pergamit's grand vision of intelligent nano-robots patrolling the body, monitoring vital functions and intervening when and where needed to repair or replace defective structures, cells or molecules seems to be within reach, albeit still some way off" (Matteucci et al., 2018).

La evolución de la nanotecnología se ha producido en gran parte gracias al desarrollo de los métodos y estrategias analíticas correspondientes (Semenova y Silina, 2019). "La nanoanalítica, término propuesto por Zolotov en 2007, es una parte de la química analítica que desarrolla los principios y métodos de aplicación de las nanotecnologías y las propiedades inusuales de los objetos nanométricos en el análisis químico" (Devasahayam, 2017; Faucher et al., 2019; Lespes, 2019; López-Sanz et al., 2019; Minelli y Clifford, 2012, Nelson et al., 2010; Shtykov, 2020; Zolotov, 2007; Zolotov, 2008; Zoloto, 2010). En la Tabla 14 se muestran algunas definiciones de nanoanalítica. Exis-

ten diferentes Congresos y Conferencias Internacionales sobre Nanociencia y Nanotecnología, e.g. la “8th International Conference on Nanoscience and Nanotechnology” (ICONN 2020) se celebró en Brisbane (Australia), del 9 al 13 de Febrero de 2020. Los VIII y IX “International Congress on Analytical Nanoscience and Technology” (NyNA) han tenido lugar en Barcelona (3 al 5 de Julio de 2017) y Zaragoza (2 al 4 de Julio de 2019), estando prevista la celebración del X en Ciudad Real (6 al 8 de Septiembre de 2022).

La capacidad de analizar nanopartículas se desarrolla a la par que su fabricación; para fabricar nanomateriales reproducibles para el análisis, es fundamental poder realizar análisis a escala nanométrica. “To support the further developments in nanoscience in general and organic-inorganic hybrids as a case study, it is highly necessary to seriously concern nanotechnology issue as the next step” (Silina et al., 2020, p 16/20). La brecha existente entre la ciencia bioanalítica básica y las aplicaciones nanotecnológicas reales constituye un desafío. Los esfuerzos de químicas, médicos, farmacéuticos, biólogos e ingenieros de ciencia de los materiales ponen a disposición de las ciencias bioanalíticas y de atención médica futuros nanomateriales comerciales. Carmen Avendaño recientemente ha dicho (en referencia a los Premios Nobel de 2015): la Biología invade la Química y la Química invade la Medicina (Avendaño Lopez, 2016).

Podemos concluir con Drexler: “Si avanzamos en las direcciones correctas (aprender, enseñar, discutir, cambiar de rumbo y seguir adelante), es posible que aún podamos dirigir la carrera tecnológica hacia un futuro con espacio suficiente para nuestros sueños”. Plenty of room en definitiva. “Five years ago, audiences questioned whether individual atoms could be placed in precise patterns; today, I can answer that question not just with calculations, but with a slide showing the letters ‘IBM’ spelled using 35 xenon atoms.” (Drexler 1992: 1). Y con Feynman (1983): “Por cierto, lo que acabo de esbozar es lo que llamo una “historia de la física de los físicos”, que nunca es correcta. Lo que les estoy contando es una especie de cuento-mito convencionalizado que los físicos les cuentan a sus estudiantes, y esos estudiantes les cuentan a sus estudiantes, y no está necesariamente relacionado con el desarrollo histórico real, que realmente no conozco”. Espero que la historia que les he contado en el transcurso de esta conferencia diste mucho de esto último; no era esa mi intención.

TABLA 14
ALGUNAS DEFINICIONES DE NANOANALÍTICA

Autor	Definición
Sergei Shtykov J. Clin. Bioanal. Chem. 2020, 4(3)	La nanoanalítica es una parte de ciencia de diagnóstico que construye los estándares y técnicas para la aplicación de las nanotecnologías y las propiedades sorprendentes de los objetos de tamaño nanométrico en el examen sintético.
S. Faucher, P. Le Coustumer, G. Lespes, Nanoanalytics: history, concepts, and specificities, Env. Sci. Poll. Res. 2019, 26, 5267-5281.	La nanoanalítica es una disciplina científica que desarrolla y aplica métodos, instrumentos y estrategias para obtener información sobre la composición química y la naturaleza física y química de la materia en forma de objetos nanométricos, en el espacio y el tiempo, así como sobre el valor de estas mediciones, es decir, su incertidumbre, validación y / o trazabilidad de acuerdo con estándares fundamentales
S. Shtykov, Nanoanalytics, Walter de Gruyter: Berlin, Germany, 2018; S. Shtykov J. Anal. Bioanal. Tech. 2014, 5(4), 35	La nanoanalítica es una parte de la química analítica que desarrolla los principios y métodos de aplicación de las nanotecnologías y las propiedades inusuales de los objetos nanométricos en el análisis químico
Yu.A. Zolotov Analytical Chemistry: the day today. J. Anal. Chem. 2007, 62 (10), 912-917	La nanoanalítica consta de dos partes. Una de ellas es interesante, en primer lugar, para los expertos en nanomateriales y nanotecnologías. En ésta se trata de la creación y desarrollo de métodos y herramientas utilizadas en el estudio de nanoobjetos, como microscopía de fuerza atómica, o microscopía electrónica de túnel de barrido, entre otras. El objetivo de la segunda parte es utilizar nanoestructuras para la creación de nuevas herramientas de análisis químico en condiciones habituales. Por ejemplo, las columnas monolíticas con nanocanales son prometedoras para la cromatografía. Las nanopartículas de oro con superficies modificadas ya se utilizan en diferentes métodos de análisis.

REFERENCIAS

- ACADEMIE DE SCIENCES, Le nano-monde de la Chimie. La lettre de l'Académie des Sciences, n° 23, été 2008.
- ACS, A National Historical Landmark. The Discovery of Camphothecin and Taxol, April 23, 2003.
- ACS, Celebrando la química. Nanotecnología: la GRAN y más pequeña idea de la ciencia, Sociedad química de los Estados Unidos, Washington DC, 2012.
- ACS, Green Nanotechnology Challenges and Opportunities, ACS Green Chemistry Institute, June 2011.
- ADAMS, F.C., BARBANTE, C. Nanoscience, nanotechnology and spectrometry. *Spectrochim. Acta B* 86, 3-13 (2013).
- AHN, J.J., KIM, Y., CORLEY, E.A., SCHEUFELE, D.A., Laboratory safety and nanotechnology workers: an analysis of current guidelines in the USA. *Nanoethics* 10, 5-23 (2016).
- ALBE, V., The great founding myths of nanotech: Moore law and the legacy of Feynman's 1959 talk, 17-05-2018; <http://www.unit.eu/cours/enjeux-nanosciences-nanotechnologies/Module3-GB.pdf>
- ALEIXANDRE-TUDÓ, J.L., BOLAÑOS-PIZARRO, M., ALEIXANDRE, J.L., ALEIXANDRE-BENAVENT, R., Worldwide scientific research on nanotechnology: a bibliometric analysis of tendencies, funding, and challenges. *J. Agr. Food Chem.* 68 (34), 9158-9170 (2020).
- ALSHAHATEET, S.F., Chemistry and International Mole Day. *J. Mater. Environ. Sci.* 10 (10), 1025-1029 (2019).
- ALTMANN, J., Military Nanotechnology. Potential Applications and Preventive Arms Control, Routledge, 2006.
- ALTMANN, J., Military uses of nanotechnology: perspectives and concerns, *Secur. Dialogue* 35(1), 61-79 (2004).
- AMATO, I., The apostle of nanotechnology. *Science* 254(5036), 1310-1311 (1991).
- AMMANN, M., HAUERT, R., BURTSCHER, H., In situ detection of monovalent copper in aerosols by photoemission. *Fresenius J. Anal. Chem.* 343(6), 491-496 (1992).
- ARANCON, R.A.D., ZHANG, Y.T., LUQUE, R., Nanotechnology management for a safer work environment. *Pure Appl. Chem.* 86(7), 1159-1168 (2014).
- ASSALI, M., Nanotubos de Carbono Biocompatibles: Síntesis y Aplicaciones en Biomedicina, Tesis Doctoral, Departamento de Química Orgánica y Farmacéutica, Facultad de Farmacia, Universidad de Sevilla, 2012.
- ASUERO, A.G., El fullereno, historia y realidades: el tercer hombre. En "Nanotecnología: Promesas, Realidades y Retos", Instituto de Academias y Reales Academias de Andalucía, 2021a; pp 133-178.
- ASUERO, A.G., Química y Medida: de los orígenes a la miniaturización y a la nanoanalítica (una perspectiva histórica de la Química Analítica), Editorial Universidad de Sevilla: Sevilla, 2021b.
- AVENDAÑO LOPEZ, M.C., Nobel Prizes of Chemistry and Physiology or Medicine. Biology invades Chemistry and Chemistry invades Medicine. *Anal. R. Acad. Farm.* 82 (2) 121-128 (2016).
- BAHRU, T.B., AJEBE, E.G., A review on Nanotechnology: analytical techniques use and applications. *Int. Res. J. Pure Appl. Chem.* 19 (4), 1-10 (2019).
- BAI, C., LIU, M., From chemistry to nanoscience: not just a matter of size. *Angew. Chem. Int. Ed. Engl.* 52 (10), 2678-2683 (2013).
- BAIG, N., KAMMAKAKAM, I., FALATH, W., Nanomaterials: a review of synthesis methods, properties, recent progress, and challenges. *Mater. Adv.* 2, 2821-1871 (2021).
- BAINBRIDGE, W.S. (Ed.), *Societal Implications of Nanoscience and Nanotechnology*, Springer, 2001.
- BAINBRIDGE, W., ROCO, M.C. (Eds.), *Managing Nano-Bio-Info-Cogno Innovations. Converting technologies in Society*, National Science Foundation and National Science and Technology Council, Springer: Dordrecht, The Netherlands, 2005.

- BAIRD, D., SHEW, A., Probing the history of scanning tunnelling microscopy. En “Discovering the Nanoscale”, Baird, D.; Nordman, A., Schummer, J. (eds.), IOS Press, 2004; pp 145-156.
- BAKSHI, S., HE, Z.L., HARRIS, W.G., Natural nanoparticles. Implications for environment and human health. *Crit. Rev. Env. Sci. Techno.* 45(8), 861-904 (2015).
- BALL, P., Feynman’s fancy. *Chem. World*, pp 58-62, January (2009).
- BALL, P., Nature’s nanomachines. *Chem. World* p. 27, May (2021).
- BANGHAM, A.D., Liposomes: the Babraham connection. *Chem. Phys. Lipids* 64 (1-3), 275-285 (1993).
- BANGHAM, A., The first description of liposomes (This week’s citation classic). *Curr. Contents* 13, 14, March 27 (1989).
- BANGHAM, A.D., HORNE, R.W., Negative staining of phospholipids and their structural modification by surface active agents as observed in the electron microscope. *J. Mol. Biol.* 8(5), 660-668 (1964).
- BANGHAM, A.D., STANDISH, M.M., WATKINS, J.C., Diffusion of univalent ions across the lamellae of swollen phospholipids. *J. Mol. Biol.* 13 (1), 238-252 (1965).
- BARBOUX, P., BONNET, J-P., DURAND, A., LECCOMMANDOUX, S., LE MEINS, J-F., NEDELEC, J-M., PAUPORTÉ, T., PELLÉ, F., RAVAINÉ, V., SCHATZ, C., Nanosciences et nanotechnologies : santé et environnement. *L’Act. Chim.* 338-339, 112-120 (2010).
- BARNARD, A.S., MOTEVALLI, B., PARKER, A.J., FISCHER, J.M., FEIGL, C.A., OPLETAL, G., Nanoinformatics, and the big challenges for the science of small things. *Nanoscale* 11(41), 19190-19201 (2019).
- BAUER, J., Teaching nanotechnology through research proposals. *J. Chem. Educ.* 98 (7), 2347-2355 (2021).
- BAUM, R., Nanotechnology: Drexler and Smalley make the case for and against molecular assemblers. *Chem. Eng. News* 81(48), 37-42 (2003).
- BAYDA, S., ADEEL, M., TUCCINARDI, T., CORDANI, M., RIZZOLIO, F., The history of nanoscience and nanotechnology: from chemical-physical applications to nanomedicine. *Molecules* 25, 112, 25010112 (2020) (15pp).
- BENNETT, C.H., FOWLER, A.B., A Biographical Memory of Rolf W. Landauer 1927-1999; National Academy of Sciences, Washington, D.C., 2009, 14 pp.
- BENSAUDE-VINCENT, B., Biomimetic chemistry and synthetic biology: a two-way traffic across the borders. *HYLE – Int. J. Phil. Chem.* 15(1), 31-46 (2009a).
- BENSAUDE-VINCENT, B., From self-organization to self-assembly: a new materialism? *Hist. Phil. Life Sci.* 38, Article 1 (13 pp) (2016).
- BENSAUDE-VINCENT, B., Self-assembly, self-organization: a philosophical perspective on a major challenge of nanotechnology. France-Stanford Meeting “Implications Sociales et Étiques de la Convergence Nano, Bio, Info-, Cogno-“, Dec 2006, Avignon, France. Halshs-00350831 submitted on 7 Jan 2009b.
- BENSAUDE-VINCENT, B., The new identity of chemistry as biomimetic and nanoscience. 6th International Conference on the History of Chemistry, 53-64. Neighbours and Territories. The Evolving Identity of Chemistry, J.R. Bertomeu-Sánchez, D.T. Burns, B. van Tiggelen (Eds.), Mémosciences asbl: Louvain-la-neuve, Belgique, 2008, pp 53-64.
- BENSAUDE-VINCENT, B., Two cultures of nanotechnology? *HYLE – Int. J. Phil. Chem.* 10(2), 65-82 (2004).
- BENSAUDE-VINCENT, B., LOEVE, S. Metaphors in nanomedicine: the case of targeted drug delivery. *Nanoethics* 8(1), 1-17 (2014).
- BENSAUDE-VINCENT, B., SIMON, J., Nanotechnoscience: the end of the beginning. *Phil. Sci.* 23(1), 5-17 (2019).
- BERGER, M., Nanómetrology – a key aspect of developing nanotechnologies. Posted Apr 08, 2011; <https://www.nanowerk.com/spotlight/spotid%3D20923.php>

- BHATNAGAR, S., GOEL, A., Evolution of nanotechnology. *BioEvolution* 1(3), 76-79 (2014).
- BHUSHAN, B. Introduction to nanotechnology. En "Springer Handbook of Technology", Bhushan, B. (Ed.), Springer-Verlag: New York, 2017, pp 1-19.
- BINNIG, G., Aus dem Nichts: Über die Kreativität von Natur und Mensch, München: Piper, 1989.
- BINNIG, G., ROHRER, H., In touch with atoms. *Rev. Mod. Phys.* 71(2) S324-S330 (1989).
- BINNIG, G., ROHRER, H., Scanning tunneling microscopy – from birth to adolescence, Nobel lecture, December 8, 1986; pp 389-409; <https://www.nobelprize.org/uploads/2018/06/binnig-lecture.pdf>; *Angew Chem. Int. Edi.* 26(7), 606-614 (1987); *Rev. Mod. Phys.* 59(3), 615-625 (1987).
- BLONDER, R., The story of nanomaterials in modern technology. An advanced course for chemistry teachers. *J. Chem. Educ.* 88(1) 49-52 (2011).
- BOBO, D., ROBINSON, K.J., ISLAM, J., THURECHT, K., CORRIE, S.R., Nanoparticle-based medicines: a review of FDA-approved materials and clinical trials to date. *Pharm. Res.* 33(10), 2373-2387 (2016).
- BOISSEAU, P., LOUBATION, B., Nanomedicine, nanotechnology in medicine. *C.R. Phys.* 12 (7), 620-636 (2011).
- BOLU, B.S., SANYAL, R., SANYAL, A., Drug delivery systems from self-assembly of dendron-polymer conjugates. *Molecules* 23, 1750 (26 pp) (2018).
- BOULDING, K.E., Stable Peace, University of Texas Press: Austin, 1978, 1972.
- BOZZUTO, G., MOLINARI, A., Liposomes as nanomedical devices. *Int. J. Nanomedicine* 10, 975-999 (2015).
- BRAGAZZI, N.L., NANOMEDICINE: Insights from a bibliometric-based analysis of emerging publishing and research trends. *Medicina* 55, 785 (8 pp) (2019).
- BROADHEAD, L-A., HOWARD, S., Two cultures, one frontier: the Drexler-Smalley debate on the limits and potential of nanotechnology. *Techné* 15(1), 22-35 (2011).
- BUCEA, C., BLANDINO, I.I.P.B., ROBBIE, K., Nanomaterials and nanoparticles: sources and toxicity. *Biointerphases* 2(4), MR17-MR172 (2007).
- BUENO, O., The Drexler-Smalley debate on nanotechnology: incommensurability at work? HYLE – *Int. J. Philos. Sci.* 10(2), 83-98 (2004).
- BUHLEIER, E., WEHNER, E., VOGTLE, F., Cascade – and non-skid-chain-like syntheses of molecular cavity topologies. *Synthesis* 2, 155-158 (1978).
- BULBAKE, U., DOPPALAPUDI, S., KOMMINENI, N., KHAN, W., Liposomal formulations in clinical use: an updated review. *Pharmaceutics* 9, 12 (33 pp) (2017).
- BUNDSCHUH, M., FILSER, J., LÜDERWALD, S., McKEE, M.S., METREVELI, G., SCHAUMANN, G.E., SCHULZ, R., WAGNER, S., Nanoparticles in the environment: where do we come from, where do we go to? *Environ. Sci. Eur.* 30, 6 (17pp) (2018).
- CALABRETTA, M.M., ZANGHERI, M., LOPRESIDE, A., MARCHEGANI, E., MONTALI, L., SIMONI, P., RODA, A., Precision medicine, bioanalytics and nanomaterials: toward a new generation of personalized portable diagnostics. *Analyst* 145 (8), 2841-2853 (2020).
- CATELLIN, S., The nanoworld between science and fiction. *J. Incl. Phenom. Macrocycl. Chem.* 65 (1), 197-204 (2009).
- CGPM, Comptes Rendus des Séances de la Onzième Conférence Générale des Poids et Mesures, Paris, 11-20 octobre 1960, Gauthier-Villars : Paris, 1960.
- CHAUHAN, A.S., Dendrimers for drug delivery. *Molecules* 23, 938 (9 pp) (2018).
- CHEN, G., ROY, I., YANG, C., PRASAD, P.N., Nanochemistry and nanomedicine for nanoparticle-based diagnostics and therapy. *Chem. Rev.* 116 (5), 2826-2885 (2016a).
- CHENG, H.N., DOEMENY, L.J., GERACI, C.L., SCHMIDT, D.G., Nanotechnology overview: opportunities and challenges. En *Nanotechnology: Delivering on the Promise Volume 1*, Cheng, H.M., Doemeny, L., Geraci, C.L., Schmidt, D.G. (Eds.), ACS Symposium Series, American Chemical Society, Washington, DC, 2016b.

- CHEN, S., ZHANG, Q., HOU, Y., ZHANG, J., LIANG X-J., Nanomaterials in medicine and pharmaceuticals: nanoscale materials developed with less toxicity. *Eur. J. Nanomed.* 5(2), 61-79 (2013).
- CHOI, H., MODY, C.C.M., The long history of molecular electronics: Microelectronics origins of nanotechnology. *Soc. Stud. Sci.* 39(1) 11-50 (2009).
- CONTADO, C., Nanomaterials in consumer products: a challenging analytical problem. *Front. Chem.* 3, Article 48 (20 pp) (2015).
- CRAWLEY, N., THOMPSON, M., Theranostics in the growing field of personalized medicine: an analytical chemistry perspective. *Anal. Chem.* 86(1), 130-160 (2014).
- CRICHTON, M., Prey, Harper Collins: New York, 2002.
- CROMMIE, M.F., LUTZ, C.P., EIGLER, D.M., Confinement of electrons to quantum corrals on a metal surface. *Science* 262 (5131), 218-220 (1993).
- DARAEI, H., ETEMADI, A., KOUHI, M., ALIMIRZALU, S., AKBARZADEH, A., Application of liposomes in medicine and drug delivery. *Artif. Cells, Nanomed. Biotechnol.* 44(1), 381-391 (2016).
- DE ARAUJO, R.V., SANTOS S. D.S., FERREIRA, E.I., GIAROLLA, J., New advances in general biomedical applications of PAMAM dendrimers, *Molecules* 23, 2849 (9 pp) (2018).
- DE PABLO, J.J., JACKSON, N.E., WEBB, M.A.,..., SUNTIVICH, J., THORNTON, K., ZHAO, J-C., New frontiers for the materials genome initiative. *Npj Comput. Mater.* 5, Article 41 (23 pp) (2019).
- DEKKERS, S., OOMEN, A.G., BLEEKER, E.A.J., ..., DIJKZEUL, A., VAN TEUNENBROEK, T., WIJNHOFEN, S.W.P., Towards a nanospecific approach for risk assessment. *Regul. Toxicol. Pharmacol.* 80, 46-59 (2016).
- DELGADO, J.L., HERRANZ, M.A., MARTIN, N., The nano-forms of carbon. *J. Mater. Chem.* 18(13), 1417-1426 (2008).
- DEVASAHAYAM, S., Overview of an internationally integrated nanotechnology governance. *Int. J. Metrol. Qual. Eng.* 8(8) 3-12 (2017).
- DRESSELHAUS, M.S., ARAUJO, P.T., Perspectives on the 2010 Nobel Prize in Physics for graphene. *ACS Nano* 4(11), 6297-6302 (2010).
- DREXLER, K.E., *Engines of Creation. The Coming Era of Nanotechnology*, Anchor Press, 1986.
- DREXLER, K.E., From Feynman to funding, *Bull. Sci. Technol. & Society* 24(1) 21-27 (2004).
- DREXLER, K.E., Molecular engineering: an approach to the development of general capabilities for molecular manipulation. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 78(9) 5275-5278 (1981).
- DREXLER, K.E., *Molecular machinery and manufacturing with applications to computation*, PhD Thesis, Interdepartmental Program in the Field of Molecular Technology, Massachusetts Institute of Technology, MIT, 1991.
- DREXLER, K.E., *Nanosystems: Molecular Machinery, Manufacturing, and Computation*, Wiley: New York, 1992a.
- DREXLER, E. K., New technologies for a sustainable world. Hearing in front of the U.S. Senate Committee on Commerce, Science, and Transportation's Subcommittee on Science, Technology, and Space, June 26, 1992b. *Foresight Update*, 14. <http://www.islandone.org/Foresight/Updates/Update14/Update14.1.html#anchor63480>, Accessed 25 March 2018.
- DREXLER, K.E., Productive nanosystems: the physics of molecular fabrication. *Phys. Educ.* 40(4), 339-346 (2005).
- DREXLER, K.R., *Radical Abundance: How a Revolution in Nanotechnology will Change Civilization*, Public Affairs, 2013.
- DREXLER, K.E., PETERSON, C., PERGAMIT, G., *Unbounding the Future: The Nanotechnology Revolution*, Simon and Schuster, 1991.
- DRISCOLL, R.J., YOUNGQUIST, M.G., BALDESCHWIELER, J.D., Atomic-scale imaging of DNA using scanning tunnelling microscopy. *Nature* 346, 294-296 (1990).
- DUAN, W., WANG, W., DAS, S., YADAV, V., MALLOUK, T.E., SEN, A., Chemistry: sensing, migration, capture, delivery, and separation. *Annu. Rev. Anal. Chem.* 8, 311-333 (2015).

- DURRANI, J., Manipulating matter at the atomic level. *Chemistry World* 24-25, October (2020).
- DÜZGÜNES, N., GREGORIADIS, G., Introduction: the origins of liposomes: Alec Bangham at Brahmam. *Meth. Enzymol.* 391, 1-3 (2005).
- EALIAS, A.M., SARAVANAKUMAR, M.P., A review on the classification, characterization, synthesis of nanoparticles and their application. 2017 Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 263, 032019 (15 pp) (2017).
- EDITORIAL, A brief history of some landmark papers. *Nat. Nanotechnol.* 5, 237 (2010).
- EDITORIAL, 'Plenty of room' revisited. *Nat. Nanotechnol.* 4, 781 (2009).
- EDWARDS, P.P., THOMAS, J.M., Gold in a metallic divided state -from Faraday to the present-day nanoscience. *Angew. Chem. Int. Ed.* 46(29), 5480-5486 (2007).
- EIGLER, D.M., SCHWEIZER, E.K., Positioning single atoms with a scanning tunnelling microscope. *Nature* 344, 524-526 (1990).
- EL PAIS, Cuando la realidad supera a la ficción; <https://elpais.com/noticias/stanislaw-lem/> 17-04-2020.
- ESWARA, S., PSHENOVA, L., YEDARA, L., HOANG, Q.H., LOVRIC, J., PHILLIP, P. WIRTZ, T., Correlative microscopy combining transmission electron microscopy and secondary ion mass spectrometry: a general review on the state of the art, recent developments, and prospects. *Appl. Phys. Rev.* 6, 021312 (20pp) (2019).
- FANG, F., ZHANG, N., GUO, D., EHMANN, K., CHEUNG, B., LIU, K., YAMAMURA, K., Towards atomic and close-to-atomic scale manufacturing. *Int. J. Extrem. Manuf.* 1, 012001 (33 pp) (2019).
- FARADAY, M., X. The Bakerian Lecture. Experimental relations of gold (and other metals) to light. *Phil. Trans. Roy. Soc. London* 147, 145-181 (1857).
- FARJADIAN, F., GHASEMI, A., GOHARI, O., ROOINTAN, A., KARIMI, M., HAMBLIN, M.R., Nanopharmaceuticals and nanomedicines currently on the market: challenges and opportunities. *Nanomedicine (London)* 14(1), 93-126 (2019).
- FAUCHER, S., LE COUSTUMER, P., LESPEDES, G. Nanoanalytics: history, concepts, and specificities. *Env. Sci. Poll. Res.* 26(6), 5267-5281 (2019).
- FEYNMAN, R., *Electrodinámica cuántica*, Alianza Editorial: Madrid, 2020; ¿Está usted de broma Sr. Feynman?, Alianza Editorial: Madrid, 2016; Que te importa lo que piensen los demás, Alianza Editorial: Madrid, 2016.
- FEYNMAN, R. Infinitesimal machinery. *J. Microelectromech. Syst.* 2(1) 4-14 (1993).
- FEYNMAN, Lectures on Physics; <https://www.feynmanlectures.caltech.edu>
- FEYNMAN, R., QED, The Strange Theory of Light and Matter, Princeton University Press, N.J., 1983; Chapter 1, p.6.
- FEYNMAN, R.P., There's plenty of room at the bottom. *Eng. & Sci.* 23(5), 22-36 (1960); *J. Microelectromech. Syst.* 1(1) 60-66 (1992); [1959], There's plenty of room at the bottom, in: Miniaturization, edited by H. D. Gilbert, New York: Reinhold Publishing Co, 282-296, <http://www.zyvex.com/nanotech/feynman.html>.
- FILIPCZAK, N., PAN, J., YALAMARTI, S.S.K., TORCHILIN, V.P., Recent advancements in liposome technology. *Adv. Drug Deliv. Res.* 156, 4-22 (2020).
- FILIPPONI, L., S UThERLAND, D., *iNANO*, Chap. 1. Introduction to Nanoscience and Nanotechnologies, Interdisciplinary Nanoscience Center (NATO), Aarhus University, Denmark; https://nanoyou.eu/attachments/188_Module-1-chapter-1.pdf
- FORESIGHT INSTITUTE, 1986 through 2016: thirty years of nanotechnology and Foresight; <https://foresight.org/our-history/>
- FOULKES, R., MAN, E., THIND, J., YEUNG, S., JOY, A., HOSKINS, C., The regulation of nanomaterials and nanomedicines for clinical application: current and future perspectives. *Biomater. Sci.* 8(17), 4653 (2020).

- GADEKAR, V., BORADE, Y., KANNAUJIA, S., RAPPOOT, K., ANUP, N., TAMBE, V., KALIA, K., TEKADE, R.K., Nanomedicines accessible in the market for clinical interventions. *J. Control Release* 330, 372-397 (2021).
- GAFFET, E., Nanomatériaux : une revue des définitions, des applications et des effets sur la santé. Comment implémenter un développement sûr. *C.R. Phys.* 12(7), 648-658 (2011).
- GANASCIA, J.-G., The new ethical trilemma: security, privacy and transparency. *C.R. Phys.* 12(7), 684-692 (2011).
- GERBER, C., LANG, H.P., How the doors to the nanoworld were opened. *Nat. Nanotechnol.* 1 (1), 3.5 (2006).
- GIGUERE, R.J., *Molecules that Matter*, Chemical Heritage Foundation: Philadelphia: Pennsylvania, 2008, pp 161, 163.
- GOMEZ-HENS, A., FERNANDEZ-ROMERO, J.M., Analytical methods for the control of liposomal delivery systems. *TrAC* 25(2) 167-178 (2006).
- GORDON, J.E., *The New Science of Strong Materials*, Griffith, 1968.
- GRAHAM, T., X. Liquid diffusion applied to analysis. *Phil. Trans. Roy. Soc. London* 151, 183-224 (1861).
- GRANEK, G., HON, G., Searching for asses, finding a kingdom: the story of the invention of the scanning tunnelling microscope (STM). *Ann. Sci.* 65(1), 101-125 (2008).
- GRAF, R., COUVREUR, P., Nouveaux matériaux pour la vectorisation des médicaments. *L'Act. Chim.* 353-354, 88-91 (2011).
- GRIFFIN, S., MASOOD, M.I., NASIM, M.J., SARFRAZ, M., EBOKAIWE, A.P., SCHÄFER, K-H., KECK, C.M., JACOB, C., Natural nanoparticles : a particular matter inspired by nature. *Antioxidants* 7, 3 (21pp) (2018).
- GUSSMAN, N., *Advanced materials: stories of innovation*. *Chem. Int.* 30-33, September-October (2012).
- HAJIALI, H., OUYANG, L., LLOPIS-HERNANDEZ, V., DOBRE, O., ROSE, F.R.A.J., Review of emerging nanotechnology in bone regeneration: progress, challenges, and perspectives. *Nanoscale* 13, 10266 (15 pp) (2021).
- HANNAH, W., THOMPSON, P.B., Nanotechnology, risk and the environment: a review. *J. Environ. Monit.* 10(3), 291-300 (2008).
- HANSEN, N.N., CARNEIRO, K., HAITJEMA, H., DE CHIFFRE, L., Dimensional micro and nano metrology. *Annals of the CIRP* 55(2) 721-743 (2006).
- HAWKER, C.J., FRECHET, J.M.J., Preparation of polymers with controlled molecular architecture. A new convergent approach to dendritic macromolecules. *J. Am. Chem. Soc.* 112(21), 7638-7647 (1990).
- HEILIGTAG, F.J., NIEDERBERGER, M., The fascinating world of nanoparticle research. *Mater. Today* 16(7-8), 262-271 (2013).
- HEINLEIN, R.A., *Waldo and Magic*, In., Doubleday and Company, Inc : New York, 1950. *Recoge dos novelas*, Waldo (Astounding, 1942) y Magic, Inc. (Unknown, 1940).
- HENNION M-C, *Chimie analytique et société*. *L'Act. Chim.* N° 338-339, 55-63 (2010).
- HERGES, R., Molecular assemblers: molecular machines performing chemical synthesis. *Chem. Sci.* 11(34), 9048-9055 (2020).
- HESSENBRUCH, A., Nanotechnology and the negotiation of novelty. En "Discovering the Nanoscale", Baird, D., Nordmann, A., Schummer, J. (Eds.), IOS Press, 2004, pp 135-144.
- HEY, T., Richard Feynman and computation. *Contemp. Physics* 40(4), 257-265 (1999).
- HOCELLA, M.F., MOGK, D.W., RANVILLE, J., ... VIKESLAND, P., WESTERHOFF, P., YANG, Y., Natural, incidental, and engineered nanomaterials and their impacts on the Earth system. *Science* 363 (6434) aau8299 (10 pp) (2019).

- HOLLAND, L.A., CARVER, J.S., VELTRI, L.M., HENDERSON, R.J., QUEDADO, K.D., Enhancing research for undergraduates through a nanotechnology training program that utilizes analytical and bioanalytical tools. *Anal. Bioanal. Chem.* 410, 6041-6050 (2018).
- HOLLAND, L., ZHONG, W., Analytical developments in advancing safety in nanotechnology. *Anal. Bioanal. Chem.* 410(24), 6037-6039 (2018).
- HULLA, J.E., SAHU, S.C., HAYES, A.W., Nanotechnology: history and future. *Hum. Exp. Toxicol.* 34(2), 1318-1321 (2015).
- HUNT, L.B., The true story of purple of Cassius. The birth of gold-based glass and enamel colours. *Gold Bull.* 9, 134-139 (1976).
- IETE TECHNICAL REVIEW, The Institution of Electronics and Telecommunication Engineers, Nanotechnology Education, A Paradigm Shift, 24(1) January-February (2007).
- ISO/TS 80004-1 (2015a). Nanotechnologies-Vocabulary-Part 1: Core Terms. Geneva: International Organization for Standardization.
- ISO/TS 80004-2 (2015b). Nanotechnologies-Vocabulary-Part 2: Nano-Objects. Geneva: International Organization for Standardization.
- ISO/TS 80004-4 (2011). Nanotechnologies-Vocabulary-Part 4: Nanostructured Materials. Geneva: International Organization for Standardization.
- JACQUESY, R.A., "Nanos": définition, science, technologie, risques...L'exemple des nanotubes de carbone. *L'Act. Chim.* juin-juillet-août 364-365, 8-10 (2012).
- JAIN, K.K., The Handbook of Nanomedicine, Humana Press : Totowa, NJ, USA, 2008.
- JAMWAL, D., SHARMA, A., KANWAR, R., MEHTA, S.K., The multifaceted dimensions of potent nanostructures: a comprehensive review. *Mater. Chem. Front.* 5(7), 2967 (29 pp) (2021).
- JEEVANANDAM, J., BARTHOUM, A., CHAN, Y.S., DUFRESNE, A., DANQUAH, M.K., Review on nanoparticles and nanostructured materials: history, sources, toxicity and regulations. *Beilstein J. Nanotechnol.* 9, 1050-1074 (2018).
- JESORKA, A., ORWAR, O., Liposomes. Techniques and analytical applications. *Annu. Rev. Anal. Chem.* 1, 801-832 (2008).
- JHA, R.K., JHA, P.K., CHAUDHURY, K., RANA, S.V.S., GUHA, S.K., An emerging interface between life science and nanotechnology: present status and prospects of reproductive healthcare aided by nano-biotechnology. *Nano Rev.* 5, 22762 (19 pp) (2014).
- JONES, J., Feynman's unfinished business. *Nat. Nanotechnol.* 4(12), 785 (2009a).
- JONES, J., Even if Drexler is wrong, nanotechnology will have far-reaching impacts; November 9, 2004; <http://www.softmachines.org/wordpress/?p=42>
- JONES, R.A.L., Against Transhumanism. The delusion of technological transcendence, version 1.0, 15 January 2016; http://www.softmachines.org/wordpress/wp-content/uploads/2016/01/Against_Transhumanism_1.0.pdf
- JONES, R.A.L., Challenges in soft nanotechnology. *Faraday Discuss.* 143, 9-14 (2009b).
- JONES, R.A.L., What has nanotechnology taught us about contemporary technoscience. En "Quantum Engagements: Social Reflections of Nanoscience and Emerging Technologies", Zülsdorf, T., Coenen, C., Ferrari, A., Fiedeler, U., Milburn, C., Vienroth, M., IOS Press, Amsterdam, 2011.
- JU-NAM, Y., LEAD, J.R., Manufactured nanoparticles: an overview of their chemistry, interactions and potential environmental implications. *Sci. Total Env.* 400 (1-3), 396-414 (2008).
- JUNK, A., RIESS, F., From an idea to a vision: there is plenty of room at the bottom. *Am. J. Phys.* 74(9), 825-830 (2006).
- KAPLAN, S., RADIN, J., Bounding an emerging technology: para-scientific media and the Drexler-Smalley debate about nanotechnology. *Soc. Stud. Sci.* 41(4), 457-485 (2011).
- KARMAKAR, S., KUMAR, S., RINALDI, R., MARUCCIO, G., Nano-electronics and spintronics with nanoparticles. *J. Phys: Conference Series* 292, 012002 (15 pp) (2011).
- KAUFFMAN, G.B., George C. Pimentel (1922-1989): a retrospective personal and pictorial tribute a decade after his death. *Chem. Educator* 4(6), 242-258 (1999).

- KAUL, S., GULATI, N., VERMA, D., MUKHERJEE, S., NAGAICH, U., Role of nanotechnology in cosmeceuticals: a review of recent advances. *Hindawi J. Pharmaceutics* Article ID 3420204, 19 pp (2018).
- KEAT, C.L., AZIZ, A., EID, A.M., ELMARGUZI, N.A., Biosynthesis of nanoparticles and silver nanoparticles. *Bioresourc. Bioprocess* 2, Art 47 (11p) (2015).
- KECILI, R., BÜYÜKTIRYAKI, S., HUSSAIN, C.M., Advancement in bioanalytical science through nanotechnology: past, present and future. *TrAC* 110, 259-276 (2019).
- KEIPER, A., The nanotechnology revolution. *The New Atlantis* 17-34 (2003).
- KHAN, I., SAEBED, K., KHAN, I., Nanoparticles: properties, applications and toxicities. *Arabian J. Chem.* 12(7), 908-931 (2019).
- KISS, E., Nanotechnology in food systems: a review. *Acta Aliment.* 49(4), 460-474 (2020).
- KLUG, A., FINCH, J.T., FRANKLIN, R.E., The structure of turnip yellow mosaic virus: x-ray diffraction studies. *Biochim. Biophys. Acta* 25, 242-252 (1957).
- KORNEI, K., The beginning of nanotechnology at the 1959 PS meeting. *APS News* 25(10) 4, 7 (2016).
- KREUTER, J., TÄUBER, U., ILLI, V., Distribution and elimination of poly(methyl-2-14C-methacrylate) nanoparticle radioactivity after injection in rats and mice. *J. Pharm. Sci.* 68(11), 1443-1447.
- KRUG, H.F., WICK, P., Nanotoxicology: an interdisciplinary challenge. *Angew. Chem. Int. Ed.* 50(6), 1260-1278 (2011).
- KRUKEMEYER, M.G., KRENN, V., HUEBNER, F., WAGNER, W., RESCH, R., History and possible uses of nanomedicine based on nanoparticles and nanotechnological progress. *J. Nanomed. Nanotechnol.* 6(6), 1000336, (7 pp) (2015).
- KUMAR, N., DIXIT, A., *Nanotechnology for Defence Applications*, Springer: Cham, Switzerland, 2019.
- KURZWEIL, R., *The Singularity is Near: When Humans transcend Biology*, Barnes & Noble, 2005.
- LACOUR, S., A legal version of the nanoworld. *C.R. Phys.* 12(7), 693-701 (2011).
- LASZLO, P., Is there life after Partington? HYLE – *Int. J. Phil. Sci.* 10(2) 169-178 (2004)
- LAURENT, L., VILLAIN, J., Foreword. *C.R. Phys.* 12(7), 601-604 (2011).
- LAVAL, J-M., MAZERAN, P-E., THOMAS, D., Nanobiotechnology and its role in the development of new analytical devices. *Analyst* 125(1), 29-33 (2000).
- LEACH, R.K., BOYD, R., BURKE, T., DANZEBINK, H-U., DIRCHERL, K., DZIOMBA, T., GEE, M., KOENDERS, L., MORAZZANI, V., PIDDUCK, A., ROY, D., UNGER W.E.S., YACOOT, A., The European nanometrology landscape. *Nanotechnology* 22, 062001 (15 pp) (2011).
- LEHN, J.-M., Toward self-organization and complex matter. *Science* 295, 2400-2403 (2002).
- LEIRO, V., GARCIA, J.P., TOMÁS, H., PEGO, A.P., The present and future of degradable dendrimers and derivative in theranostics. *Bioconjugate Chem.* 26, 1182-1197 (2015).
- LESPEDES, G., FAUCHER, S., SLAVEYKOVA, S., Natural nanoparticles, anthropogenic nanoparticles, where is the frontier? *Front. Env. Sci.* 8, Art 71 (5pp) (2020).
- LIGLER, F.S., WHITE, H.S., Nanomaterials in analytical chemistry. *Anal. Chem.* 85(23), 1161-1162 (2013).
- LIU, G., HOU, S., TONG, P., LI, J., Liposomes: preparation, characteristics, and application strategies in analytical chemistry. *Crit. Rev. Anal. Chem.*: <https://doi.org/10.1080/10408347.2020.1805293>
- LLOYD, S., Rolf Landauer (1927-99) Head and heart of the physics of information. *Nature* 400, 720, 19 August 1999.
- LOEVE, S., About a definition of nano: How to articulate nano and technology. *HYLE -Int. J. Phil. Chem.* 16(1), 3-18 (2010).
- LOEVE, S., Point and line to plane: the ontography of carbon nanomaterials. *Cahiers François Viète, série III*, 2, 183-216 (2017).
- LOEVE, S., Quoi de neuf chez les molécules machines ? L'incroyable aventure des nanovoitures. *Philos. Sci.* 23(1), 73-98 (2019).

- LOPEZ, J., Bridging the gaps: science fiction and nanotechnology. *HYLE – Int. J. Phil. Chem.* 10(2), 129-152 (2004).
- LOPEZ-SANZ, S., GUZMAN BERNARDO, F.J., MARTIN-DOIMEADIOS, R.C.R., RIOS, A., Analytical metrology for nanomaterials: present achievements and future challenges. *Anal. Chim. Acta* 1059, 1-15 (2019).
- LUBY, S., LUBYOVA, M., SIFFALOVIC, P., JRGEL, M., MAJKOVA, E., A Brief History of Nanoscience and Foresight in Nanotechnology. En *Nanomaterials and Nanoarchitectures*, M. Bardosova, T. Wagner (Eds.), NATO Science for Peace and Security Series C: Environmental Security, Springer Science: Dordrecht, 2015, Chap. 4, pp. 63-86.
- MANSOORI, G.A., An introduction to nanoscience and nanotechnology. En “Nanoscience and Plant – Soil Systems”, Ghrobanpour, M., Khanuja, M., Varma, A. (Eds.), Springer: Cham, Switzerland, 2017; Chap 1, pp 3-20.
- MARCOVICH, A., SHINN, T., *Toward a New Dimension: Exploring the Nanoscale*, Oxford University Press: Oxford, 2014.
- MARQUARDT, R., The mole and IUPAC: a brief history. *Chem. Int.* 50-52, July-September (2019).
- MARTIN, N., Sobre fullerenos, nanotubos de carbono y grafenos. *Arbor* 187, No Extra 1, 115-131 (2011).
- MATHUR, D., MEDINTZ, I.L., Analyzing DNA nanotechnology: a call to arms for the analytical chemistry community. *Anal. Chem.* 89(5), 2646-2663 (2017).
- MATTEUCCI, F., GIANNANTONIO, R., CALABI, F., AGOSTIANO, A., GIGLI, G., ROSSI, M., Deployment and exploitation of nanotechnology nanomaterials and nanomedicine. *AIP Conference Proceedings* 1990, 010001 (2018) (25 pp).
- MAURER-JONES, M.A., GUNSOLUS, I.L., MURPHY, C.J., HAYNES, C.L., Toxicity of engineered nanoparticles in the environment. *Anal. Chem.* 85(6), 3036-3049 (2013).
- McCRAY, W.P., Will small be beautiful? Making policies for our nanotech future. *Hist. Technol.* 21(2), 177-203 (2005).
- MIE, G., Beiträge zur Optik trüber Medien, speziell kolloidaler Metalllösungen. *Ann. Phys. (Berlin)* 330, 377-445 (1908).
- MIGNANI, S., SHI, X., RODRIGUES, J., ROY, R., MUÑOZ-FERNANDEZ, A., Dendrimers toward translational nanotherapeutics: concise key step analysis. *Bioconjugate Chem.* 31(9), 2060-2067 (2020).
- MILBURN, C., *Nanotechnology in the Age of Post-Human Engineering: Science Fiction as Science*. *Configurations* 10(2), 261-295 (2002).
- MILBURN, C., *Nanovision Engineering the Future*, Duke University Press, 2008; Chap. 1, p. 40.
- MINELLI, C., CLIFFORD, C.A., The role of metrology and the UK National Physical Laboratory in nanotechnology. *Nanotechnol. Perceptions* 8, 59-75 (2012).
- MINTZER, M.A., GRINSTAFF, M.W., Biomedical applications of dendrimers: a tutorial. *Chem. Soc. Rev.* 40(1), 173-190 (2011).
- MIT, *The Third Revolution: The Convergence of the Life Sciences, Physical Sciences, and Engineering*, Massachusetts Institute of Technology, Washington DC: 2011.
- MODY, C.C.M., The diverse ecology of electronic materials. En P. Teissier, C.C.M. Mody, B.V. Tiggele (Eds.), *From Bench to Brand and Back: The Co-Shaping of Materials and Chemistry in the Twentieth Century* (2ed., Vol. Série III, pp. 217-241), 2017. *Cahiers François Viète*.
- MODY, C.C.M., LYNCH, M., Test objects and other epistemic things: a history of a nanoscale object. *Brit. J. Hist. Sci.* 43(3), 423-458 (2010).
- MOKRUSHIN, S.G., Thomas Graham and the definition of colloids. *Nature* (4844), 861 (1962).
- MOLESTINA, A., RAVICHANDRAN, K.J., WELLECK, M.N., Military applications of nanotechnology. *Stud. Papers Public Policy* 2(1), Article 5 (2020).
- MOON, C.R., MATTOS, L.S., FOSTER, B.K., ZELTER, G., MANOHARAN, H.C., Quantum holographic encoding in a two-dimensional electron gas. *Nat. Nanotechnol.* 4, 167-172 (2009).

- MOORE, G.E., Cramming more components into integrated circuits. *Electronics* 38 (8), 114-117 (1965), (4pp); *Proceedings of the IEEE* 86(1), 82-85 (1998).
- MOOREFIELD, C.N., SCHULTZ, A., NEWKOME, G.R., From dendrimers to fractal polymers and beyond. *Brazilian J. Pharm. Sci.* 49, 68-84 (2013).
- MORGAN, G.J., Early Theories of Virus Structure. En "Conformational Proteomics of Macromolecular Architecture", Hammar, L. (Ed.), R. Holland Cheng (Ed.), New Jersey: World Scientific, 2004, Chap 1, pp 3-40.
- MOSES, M.S., CHIRIKJIAN, G.S., Robotic self-replication. *Annu. Rev. Control Robot. Auton. Syst.* 3, 1-24 (2020).
- MOWAT, I., MOSKITO, J., WARD, I., KAWAYOSHI, H., WINTER, D., STROSSMAN, G., HARTZELL, A., Analytical methods for nanotechnology. *NSTI-Nanotech 2007* 4, 20-23 (2007).
- MÜLLER, A., KRICKEMEYER, E., BÖGGE, H., SCHMIDTMANN, M., PETERS, F., Organizational forms of matter: an inorganic super fullerene and Keplerate based on molybdenum oxide. *Angew. Chem. Int. Ed.* 37(24), 3360-3363 (1998).
- NAGOD, S., HALSE, S.V., Evolution of MEMS Technology. *Int. Res. J. Eng. Technol. (IRJET)* 4(12), 137-140 (2017).
- NANORA, *Nanotech Ideas in Science-Fiction-Literature*, Nano Regions Alliance: Wiesbaden, Germany, 2014
- NATIONAL SCIENCE AND TECHNOLOGY COUNCIL, *Materials Genome Initiative for Global Competitiveness*, Executive Office of the President of the United States, US Government Office: Washington DC, June 2011.
- NATIONAL SCIENCE AND TECHNOLOGY COUNCIL, *The National Nanotechnology Initiative, Supplement to the President's 2014 Budget*. Executive Office of the President of the United States, US Government Office: Washington DC: 2013.
- NATIONAL SCIENCE AND TECHNOLOGY COUNCIL COMMITTEE ON TECHNOLOGY, *Nanotechnology. Shaping the word atom by atom*, The Interagency Working Group on Nanoscience, Engineering and Technology, Washington DC, September 1999.
- NELSON, B.C., MINELLI, C., DOAK, S.H., ROESSLEIN, M., Emerging standards and analytical science for nanoenabled medical products. *Annu. Rev. Anal. Chem.* 13, 11.1-11.22 (2020).
- NEWKOME, G.R., YAO, Z-q., BAKER, G.R., GUPTA, V.K., Cascade molecules: a new approach to micelles. *A[27]-Arborol. J. Org. Chem.* 50(11), 2004-2006 (1985).
- NOTMAN, N., DNA machines get a move on. *Chem. World* pp 50-53, February (2021).
- NOWACK, B., KRUG, H.F., HEIGHT, M., 120 years of nanosilver history: implications for policy makers. *Env. Sci. Technol.* 45(4), 1177-1183 (2011).
- OZIN, G.A., Nanochemistry on my mind. *CEN ACS ORG* 36-37 February (2016).
- OZIN, G.A., ARSENAULT, A.C., CADEMARTIRI, L., *Nanochemistry – a chemical approach to nanomaterial*, 2nd ed., Royal Society of Chemistry: Cambridge, 2008.
- OZIN, G.A., HOU, K., LOTSCH, B.V., CADEMARTIRI, L., PUZZO, D.P., SCOTOGNELLA, F., GHADIMI, A., THOMSON, J., Nanofabrication by self-assembly. *Mater. Today* 12(5) 12-23 (2009)
- OZIN, G.A., MANNERS, I., FOURNIER-BIDOZ, S., ARSENAULT, A., Dream nanomachines. *Adv. Mater.* 17(24), 3011-3018 (2005).
- PABO, C., Designing proteins and peptides. *Nature* 301, 200 (1983).
- PARK, E.H., Nanotechnology course designed for non-science majors to promote critical thinking and integrative learning skills. *J. Chem. Educ.* 96(6), 1278-1282 (2019).
- PARK, H.J., SHIN, D.J., YU, J., Categorization of quantum dots, clusters, nanoclusters, and nanodots. *J. Chem. Educ.* 98(3), 703-709 (2021).
- PASADENA MUSEUM OF HISTORY, World's smallest motor: the McLellan micromotor; <https://pasadenahistory.org/collections/micromotor/>
- PAUTRAT, J-L., Nanosciences: evolution or revolution? *C.R. Physique* 12(7), 605-613 (2011).

- PETERSON, C.L., From Feynman to the grand challenge of molecular manufacturing. *IEE Technol. Soc. Mag.* 23(4), 9-15, Winter (2004).
- PIMENTEL, J., The afterlife of George G. Pimentel, *Chemical Intelligencer* (3) 53-58 (1996). En "Culture and Chemistry: The best articles on the human side of 20th-century chemistry from the archives of the chemical intelligencer", Hargittai, B., Hargittai, I. (Eds.), Springer: Boston, MA, 2015; https://doi.org/10.1007/978-1-4899-7565-2_40
- POKROPIVNY, V., LOHMUS, R., HUSSAINOVA, I., POLROPIVNY, A., VLASSOV, S., Introduction to Nanomaterials and Nanotechnology, University of Tartu, Tartu University Press: Tartu, 2007.
- RAO, C.N.R., CHETHAM, A.K., Science and technology of nanomaterials: current state an future prospects. *J. Mat. Chem.* 11(12), 2887-2894 (2001).
- RAO, C.N.R., MÜLLER, A., CHEETHAM, A.K., The Chemistry of Nanomaterials: Synthesis, Properties and Applications, 2 Vols., Wiley-VCH: Weinheim, 2004.
- RATNER, M.; RATNER, D.: 2003, Nanotechnology, Prentice Hall, New Jersey.
- RATUSHNYAK, M.G., SEMOCHKINA, Yu.P., Exosomes: natural nanoparticles with therapeutic potential. *Nanotechnol. Russ.* 15(7-8), 415-427 (2020).
- REAL ACADEMIA ESPAÑOLA, Diccionario de la Lengua Española, 23 ed., S.L.U. Espasa Libros, 2014.
- RIEHMANN, K., SCHNEIDER, S.W., LUGER, T.A., GODIN, B., FERRARI, M., FUCHS, H., Nanomedicine – challenge and perspectives. *Angew. Chem. Int. Ed.* 48(5), 872-897 (2009).
- ROCO, M.C., Nanotechnology: convergence with modern biology and medicine. *Curr. Opin. Biotechnol.* 14(3), 337-346 (2003).
- ROCO, M.C., National Nanotechnology Initiative – Past, present, future. *Handbook on Nanoscience, Engineering and Technology*, 2nd ed., Taylor and Francis, 2007, pp 3.1-3.26.
- ROCO, M.C., Overview: affirmation of nanotechnology between 2020 and 2030. En "Nanotechnology Commercialization: Manufacturing Processes and Products", Mensach, T.O., Wang, B., Bothum, G., Winter, J., Davis, V (Eds.), Wiley: New York, 2018.
- ROCO, M.C., Principles of convergence in nature and society and their application: from nanoscale, digits, and logic steps to global progress. *J. Nanopart. Res.* 22, 321 (27 pp) (2020).
- ROCO, M.C., BAINBRIDGE, W.S., The new world of discovery, invention, and innovation: convergence of knowledge, technology, and society. *J. Nanopart. Res.* 15, 1946 (17 pp) (2013).
- ROCO, M.C., BAINBRIDGE, W.S. (Eds.), *Converging Technologies for Improving Human Performance. Nanotechnology, Biotechnology, Information Technology and Cognitive Science*, Kluwer: Dordrecht, Netherlands, 2003.
- ROCO, M.C., BAINBRIDGE, W.S., TONN, B., WHITESIDES, G. (Eds.), *Convergence of Knowledge, Technology and Society. Beyond Convergence of Nano-Bio-Info-Cognitive Technologies*, Springer, 2013.
- SCHAMING, D., REMITA, H., Nanotechnology: from the ancient time to nowadays. *Found. Chem.* 17 (3), 187-205 (2015).
- SCHUMER, J., Interdisciplinary Issues in Nanoscale Research, En "Discovering the Nanoscale, D. Baird, A. Nordmann, J. Schummer (Eds.), IOS Press: Amsterdam, 2004; pp. 9-20
- SCIENCE HISTORY INSTITUTE, Donald A. Tomalia, January 9 (2018); <https://www.sciencehistory.org/historical-profile/donald-a-tomalia>
- SEMENOVA, D., SILINA, Y.E., The role of nanoanalytics in the development of organic-inorganic nanohybrids -seeing nanomaterials as they are. *Nanomaterials* 9, 1673 (2019) (24pp).
- SENJEN, R., HANSEN, S.F., Towards a nanorisk appraisal framework. *C.R. Phys.* 12(7), 637-646 (2011).
- SERGEEV, G.B., KLABUNDE, K.J., *Nanochemistry*, 2nd ed., Elsevier: Amsterdam, The Netherlands, 2013; Chap. 10. Size effects in nanochemistry, pp 275-297.

- SHARMA, D.; KANCHI, S., BISETTY, K.; NUTHALAPATI, V.N., Perspective on analytical sciences and nanotechnology. En "Advanced Environmental Analysis: Applications of Nanomaterials, Vol. 1, Hussain C.M., Kharisov, B. (Eds.), The Royal Society of Chemistry: Cambridge, 2017, Chap. 1, pp 3-34.
- SHARMA, P., BHARDWAJ, N., KUMAR, V., Defense applications of nanotechnology: developments and strategies. *Eur. J. Mol. Clin. Med.* 7(7), 4310-4316 (2020).
- SHARMA, V.K., FILIP, J., ZBORIL, R., VARMA, R.S., Natural inorganic nanoparticles – formation, fate, and toxicity in the environment. *Chem. Soc. Rev.* 44(23), 8410-8423 (2015).
- SHARON, M. (Ed.), *History of Nanotechnology: from Prehistoric to Modern Times*, Wiley: New York, 2019.
- SHORE, P., MORANTZ, Ultra-precision; enabling our future. *Phil. Trans. R. Soc. A* 370, 3393-4014 (2012).
- SHTYKOV, S. Nanoanalytics – A reply of analytical chemistry to the era of nanotechnology. *J. Clin. Bioanal. Chem.* 4(3) (2020).
- SILINA, Y.E., GERNAEY, K.V., SEENOVA, D., IATSUNSKYI, I., Application of organic-inorganic hybrids in chemical analysis, bio- and environmental monitoring. *Appl. Sci.* 10, 1458 (22pp) (2020).
- SIM, S., WONG, N.K., Nanotechnology and its use in imaging and drug delivery (Review). *Biomed. Reports* 14, Article 42 (9 pp) (2021).
- SINGH, K.R.B., NAYAK, V., SARKAR, T., SINGH, R.R., Cerium oxide nanoparticles: properties, biosynthesis and biomedical application. *RSC Adv.* 10(45), 27194-27241 (2020).
- SORIANO, M.L., ZOUAGH, M., VALCARCEL, M., RIOS, A., Analytical nanoscience and nanotechnology: where we are and where we are heading. *Talanta* 177, 104-1211 (2018).
- SPACE SHUTTLE ACCIDENT. Hearings before the Subcommittee on Science, Technology, and Space of the Committee on Commerce, Science, and Transportation, United States Senate, Ninety-ninth Congress, second session, on space shuttle accident and the Rogers Commission report, February 18, June 10, and 17, 1986.
- STENT, G.S., Prematurity and uniqueness in scientific discovery. *Sci. Am.* 227(6), 84-93 (1972).
- SVENSON, S., TOMALIA, D.A., Dendrimers in biomedical applications – reflections on the field. *Adv. Drug. Delivery Rev.* 57(15), 2106-2129 (2005).
- SWANSON, J.A., Physical versus logical coupling in memory systems. *IBM J. Res. Dev.* 4(3), 305-310 (1960).
- TAN, J., ZHANG, X., WANG, X.,...GAO, H., ZHOU, Y., ZHU, Y., Structural basis of assembly and torque transmission of the bacterial flagellar motor. *Cell* 184, 2665-2679 (2021).
- TANIGUCHI, N.: On the basic concept of 'nano-technology'. In: *Proceedings of the International Conference on Production Engineering, Tokyo 1974*. Japan Society of Precision Engineering, Tokyo (1974).
- TATE, J.S., ESPINOZA, S., HABBIT, D., HANKS, C., TRYBULA, W., FAZARRO, D., Military and national security implications of nanotechnology. *J. Technol. Stud.* 41(1), 20-26 (2015).
- TEGART, G., *Nanotechnology: The Technology for the 21st Century*, The Second International Conference on Technology Foresight – Tokyo 27-28 Feb. 2003.
- TERASHIMA, H., KAWAMOTO, A., MORIMOTI, Y.V., IMADA, K., MINAMINO, T., Structural differences in the bacterial flagellar motor among bacterial species. *Biophys. Physicobiol.* 14, 191-198 (2017).
- THARAYIL, A., RAJAKUMARI, R., CHIRAYIL, C.J., THOMAS, S., KALARIKKAL, N., A short review on nanotechnology interventions against COVID-19. *Emerg. Mat.* 4, 131-141 (2021).
- THE ROYAL SOCIETY/ THE ROYAL ACADEMY OF ENGINEERING, *Nanoscience and nanotechnologies: opportunities and uncertainties*, Latimer Trend Ltd: Plymouth, U.K., 2004.

- THE WHITE HOUSE, President Clinton's address to Caltech on Science and Technology, The WHITE HOUSE Office of the Press Secretary (Los Angeles, California), For Immediate Release January 21, 2000. Remarks by the President at Science and Technology Event, California Institute of Technology Pasadena, California.
- THURS, D.P., Building the nano-world of tomorrow: science fiction, the boundaries of nanotechnology, and managing depictions of the future. *Extrapolation* 48(2), 244-266 (2007).
- TOMALIA, D.A., A serendipitous journey leading to my love of dendritic patterns and chemistry. *Molecules* 23, 824 (2pp) (2018).
- TOMALIA, D.A., BAKER, H., DEWALD, J., HALL, M., KALLOS, G., MARTIN, S., ROECK, J., RIDER, J., SMITH, P., A new class of polymers: starburst-dendritic macromolecules. *Polym. J.* 17(1), 117-132 (1985).
- TOMALIA, D.A., FRECHET, J.M.J., Discovery of dendrimers and dendritic polymers: a brief historical perspective. *J. Polym. Chem. A* 40, 2719-2728 (2002).
- TOUMEY, C., Apostolic succession, *Eng. Sci.* 68 (1/2), 16-23 (2005).
- TOUMEY, C., Lessons from the land of atoms and molecules. *Phil. Sci.* 23(1), 139-150 (2019).
- TOUMEY, C., Plenty of room, plenty of history, *Nat. Nanotechnol.* 4(12), 783-784 (2009).
- TOUMEY, C., Reacting Feynman into nanotechnology. A text for a new science. *Techné* 12(3), 133-167 (2008).
- TROTTA, F., MELE, A., Nanomaterials: classification and properties. En "Nanosponges: Synthesis and Applications", Trotta, F., Mele, A. (Eds.), Wiley-VCH Verlag, 2019.
- UJEDA, L., Nanotechnology and synthetic biology: the ambiguity of the nano-bio convergence. *Phil. Sci.* 23(1), 57-72 (2019).
- VALCARCEL, M., "Las Nanoestructuras de Carbono en la Nanociencia y Nanotecnología Analítica", Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Madrid, 2010.
- VALCARCEL, M., GINER-CASARES, J.J., Approaches to innovation: the need for consistency. *Microchem. J.* 170, 106331 (3 pp) (2021)
- VARGASON, A.M., ANSELMO, A.C., MITRAGOTRI, S., The evolution of commercial drug delivery technologies. *Nat. Biomed. Eng.* (2021); <https://doi.org/10.1038/s41551-021-00698-w>
- VON HIPPEL, A., Molecular Engineering. *Science* 123, 315-316 (1956).
- WAGNER, S., GONDIKAS, A., NEUBAUER, E., HOFMANN, T., VON DER KAMMER, F., Spot the difference: engineered and natural nanoparticles in the environment – release, behavior, and fate. *Angew. Chem. Int. Ed.* 53(46), 12398-12419 (2014).
- WANI, M.C., TAYLOR, H.L., WALL, M.E., COGGON, P., McPHAIL, A.T., Plant antitumor agents. VI. The isolation and structure of Taxol, a novel antileukemic and antitumor agent from *Taxus brevifolia*. *J. Am. Chem. Soc.* 93(9), 2325-2327 (1971).
- WATTS, G., Alec Douglas Bangham. Obituary. *The Lancet* 375, 2070 (2010).
- WEBSTER, T.J., IJN's second year is now a part of nanomedicine history. *Int. J. Nanomedicine* 2(1), 1-2 (2007)
- WEISS, P.S., A conversation with Prof. George Whitesides: pioneer in soft nanolithography. *ACS Nano* 1(2), 73-78 (2007).
- WEISSIG, V., Liposomes came first: the early history of liposomology. *Methods Mol. Biol.* 1522, 1-15 (2017).
- WEISSIG, V., PETTINGER, T.K., MURDOCK, N., Nanopharmaceuticals (part I): products on the market. *Int. J. Nanomedicine* 9, 4357-4373 (2014).
- WEISSIG, V., GUZMAN-VILLANUEVA, D., Nanopharmaceuticals (part 2): products in the pipeline. *Int. J. Nanomedicine* 10, 1245-1257 (2015).
- WHATMORE, R.G., Nanotechnology. Big prospects for small engineering. *Ingenia on line* 9, 28-33 (2001).
- WHATMORE, R.G., Nanotechnology – should we be worried. *Nanotechnol. Percept.* 1, 67-77 (2005).

- WHITESIDES, G.M., Bioinspiration: something for everyone. *Interface Focus* 5, 20150031 (10 pp) (2015a).
- WHITESIDES, G.M., Nanoscience, nanotechnology and chemistry. *Small* 1(2), 172-179 (2005).
- WHITESIDES, G.M. Reinventing chemistry, *Angew. Chem. Int. Ed. Engl.* 54(11), 3196-3209 (2015b).
- WHITESIDES, G.M., The 'right' size in nanobiotechnology. *Nat. Biotechnol.* 21(10), 1161-1165 (2003).
- WHITESIDES, G.M., DEUTCH, J., Let's get practical. *Nature* 469, 21-22 (2011).
- WHITESIDES, G.M., LIPOMI, D.J., Soft nanotechnology: "structure" vs. "function". *Faraday Discuss.* 143, 373-384 (2009)
- WIESNER, M.R., BOTERO, J.-Y., A risk forecasting process for nanostructured materials, and nanomanufacturing. *C.R. Phys.* 12(7), 659-668 (2011).
- WRIGHT, A.S., The physics of forgetting: thermodynamics of information at IBM 1959-1982. *Perspect. Sci.* 24(1), 112-141 (2016).
- WU, L-p., FICKER, M., CHRISTENSEN, J.D., TROHOPOULOS, P.N., Dendrimers in medicine: therapeutic concepts and pharmaceutical challenges. *Bioconjugate Chem.* 26(7), 1198-1211 (2015).
- WU, Z., CHEN, Y., MUKASA, D., PAK, O.S., GAO, W., Medical micro/nanorobots in complex media. *Chem. Soc. Rev.* 49(22), 8088-8112 (2020).
- ZENOBI, R., Analytical tools for the nano world. *Anal. Bioanal. Chem.* 390(1), 215-221 (2008).
- ZHANG, F., NANGREAVE, J., LIU, Y., YAN, H., Structural DNA nanotechnology: state of the art and future perspective. *J. Am. Chem. Soc.* 136(32), 11198-11211 (2014).
- ZHANG, S., Fabrication of novel biomaterials through molecular self-assembly. *Nat. Biotechnol.* 21(10), 1171-1178 (2003).
- XIANG, D., WANG, X., JIA, C. LEE, T., GUO, X., Molecular-scale electronics: from concept to function. *Chem. Rev.* 116(7), 4318-4440 (2016).
- XIAO, L., SCHULTZ, D., Spectroscopic imaging at the nanoscale: technologies and recent applications. *Anal. Chem.* 90(1), 440-458 (2018).
- ZIBAREVA, I.V., A review of information resources on nanoscience, nanotechnology, and nanomaterials. *Scientific and Technical Information Processing* 42(2), 93-111 (2015).
- ZSIGMONDI, R., *Colloids and the Ultramicroscope*, Wiley: New York, 1914.
- ZSIGMONDI, R., *The Chemistry of Colloids, Part I, Kolloidchemie*, 1st ed., Wiley: New York, 1917.
- ZOLOTOV, Yu. A., Nanoanalytics, *J. Anal. Chem.* 65(12), 1207-1208 (2010).
- ZOLOTOV, Yu. A., Some new, promising directions in analytical studies. *J. Anal. Chem.* 63(7), 617 (2008).
- ZOLOTOV, Yu. A., Analytical chemistry: the day today. *J. Anal. Chem.* 2007, 62 (10), 912-917.
- ZYLBERBERG, C., MATOSEVICH, S., Pharmaceutical liposomal drug delivery: a review of new delivery systems and a look at the regulatory landscape. *Drug Deliv.* 23(9), 3319-3329 (2016).

VUELTA AL MUNDO Y RESULTADOS CIENTÍFICOS DE LA EXPEDICIÓN DE MAGALLANES

*Conferencia pronunciada por
el doctor en Historia Javier Almarza Madrera,
dentro del ciclo “Historia y Filosofía
de la Ciencia y de la Técnica”,
el día 24 de mayo de 2021.*

RESUMEN

Este año 2022 se cumple el quinientos aniversario de la primera circunnavegación del globo terráqueo. La expedición marítima capitaneada por Fernando de Magallanes partió de España en 1519 como un viaje de descubrimiento geográfico de una nueva ruta a las Islas Molucas. El principal objetivo era llegar al archipiélago de Indonesia por el camino de occidente. Al mismo tiempo, la misión se conformó como una empresa comercial para la compra o intercambio de las preciadas especias que crecían en aquellas islas. Pero aquella podía transformarse, con una simple orden del capitán portugués, en una misión de conversión al catolicismo de las poblaciones encontradas, o en una poderosa armada con que imponer su autoridad por la fuerza en caso de hostilidades; cada una de las cinco naos estaba perfectamente pertrechada para la batalla y los marinos equipados con completas armaduras que impresionaron a los nativos de las islas descubiertas. Para todo esto estaba capacitada una flota como la provista y un marino como Magallanes. Paralelamente esta armada constituía un centro itinerante de recopilación de nuevos conocimientos para la ciencia del momento; todo lo sorprendente o novedoso quedaba anotado y descrito, incluso incorporado a la carga en forma de muestras o especímenes, pues al regreso, de todo ello habría que dar cuenta al rey y, sobre todo, a la Casa de la Contratación de Sevilla. Será de esta faceta de la expedición de la que me ocuparé en las líneas que siguen.

“En una gran hazaña, nuestros navegantes han atravesado el océano y descubierto nuevas islas. Han sido revelados los lejanos secretos de la India. El continente occidental, el llamado Nuevo Mundo, desconocido para nuestros padres, se ha explorado ya en gran parte [...]. Los navegantes de nuestra época nos han dado un nuevo globo terrestre”¹.

Jean Fernel, h. 1530

1. Citado en Bernal, 1979: 309.

“Grande fue la navegación de la flota de Salomón; empero mayor fue la de estas naos del emperador y rey don Carlos. La nave Argos, de Jasón, que pusieron en las estrellas, navegó muy poquito en comparación con la nao Victoria, la cual se debiera guardar en las atarazanas de Sevilla por memoria. Los rodeos, los peligros y trabajos de Ulises fueron nada en respeto de los de Juan Sebastián; y así, él puso en sus armas el mundo por cimera, y por letra Primus circumdedissime, que conforma muy bien con lo que navegó, y a la verdad él rodeó todo el mundo”².

Francisco López de Gomara, 1553

INTRODUCCIÓN

Al joven Carlos I rey de España, de tan solo 18 años, se le convenció de que las Islas de las Especias se hallaban dentro de la línea de demarcación del territorio de influencia asignado a España con la división norte-sur del globo, hecha por el papa Alejandro VI. La fijación definitiva de esta “línea de demarcación” con el Tratado de Tordesillas (1494), la hizo pasar a 370 leguas al oeste de las islas de Cabo Verde y cruzaba por el extremo este de Brasil, área de América reservada a la futura influencia portuguesa, que llegaría en 1500. De esta manera, todos los territorios y mares que entraran más acá de los 180° de longitud occidental, pertenecían a España. Hoy sabemos del error de cálculo entonces cometido, pues las Molucas se encuentran algo más allá de esos 180° de longitud, es decir, en la zona de dominio portugués. Se desconoce si Magallanes sabía realmente este dato y lo ocultó, pero resulta más probable que errara en sus estimaciones, dando a España la posesión de las Molucas con toda seguridad. Y es que el cálculo real de la longitud, es decir, el conocimiento de una posición de un punto al este u oeste de un meridiano en pleno mar, fue un problema científico no resuelto hasta el siglo XVIII.

El reputado cosmógrafo portugués Rui Faleiro, colaborador de Fernando de Magallanes, contribuyó con sus cartas de navegación y un pretendido método de hallar la longitud, a lograr la financiación española del viaje, que a cambio obtendría el control de las islas productoras de un tesoro en forma de clavo, canela, nuez moscada, pimienta y jengibre, así como de las rutas de su comercio. Por lo tanto, la concesión de la armada a Magallanes no se hizo sustentada en promesas o con la asunción de riesgos innecesarios, sino confiando en argumentos técnicos y de cálculo matemático que trasladados a un mapa se mostraron como irrefutables o, al menos, con visos de acercarse mucho a la realidad. La expedición hacia occidente se organizó además, como afirmó el historiador John D. Bernal “por el cálculo práctico de las ganancias que sus protectores podían esperar de la verificación de una hipótesis científica” (Bernal, 1979: 307). Lo mismo ocurrió en su momento con el viaje de Cristóbal Colón. Los progresos técnicos producto de una mejora de la tradición, y los avances de base científica, llevaron a Magallanes a

2. López de Gomara, 1553, Cap. XCVIII: 150.

afrontar su empresa con ciertas garantías de éxito, no exenta, por supuesto de riesgos, y favorecida, sin duda, por la puesta en juego de unos méritos personales dignos de reconocer en él y en toda su tripulación.

Fernando de Magallanes tenía buenos conocimientos técnicos, sobre todo los aplicados a la navegación, como la interpretación de cartas náuticas y la orientación en el mar, obtenidos con la armada portuguesa en sus viajes por el Índico en busca también de las especias. Pero es muy probable que no estuviera nunca en las Islas Molucas, y que no conociera su ubicación precisa, pues estas islas están bajo la línea ecuatorial, y sin embargo Magallanes fue a buscarlas en su penoso viaje por el Pacífico, subiendo hasta los 14° de latitud septentrional. Lo que le alejaba de las Molucas le llevó a descubrir las islas Filipinas.

En la expedición de descubrimiento viajaba, es muy sabido, Antonio Pigafetta, el famoso noble, explorador y cronista italiano que escribió la crónica, una de ellas, que sirvió de base hasta hoy día para reconstruir la historia del viaje. Era un ávido aficionado a las cosas curiosas y sabía que los viajes oceánicos eran, en ese momento, los que más maravillas ofrecían, de modo que hizo todo lo posible por enrolarse en la aventura de Magallanes. Quería ver por sus propios ojos lo que había leído en libros y escuchado de los hombres de ciencia, y luego asumir la misión auto impuesta de divulgar fielmente todo lo que viera de novedoso, para entretener y ser útil al curioso; pero también, y lo admite sin pudor, para lograr hacerse un nombre que pasase a la posteridad (Pigafetta, 1922: 36).

Pigafetta situó, también sin dudas, a todas las islas del archipiélago de las Molucas que fue conociendo dentro de la línea de demarcación castellana. Aunque no era un hombre de ciencia en sentido estricto, tenía los conocimientos básicos de geografía y astronomía para manejar el astrolabio y determinar la latitud de los lugares; sabía de la declinación magnética de la brújula, esa diferencia entre el norte geográfico y el norte magnético, que impone el campo magnético de la Tierra (Ruiz Morcuende, 1922: 17); escribió incluso un *Tratado de navegación*, donde describía hasta tres métodos de cálculo de la longitud, que eran los usuales en la época, aunque ninguno en absoluto efectivo.

Cuando Pigafetta regresó a Sevilla el 8 de septiembre de 1522, entre los poquísimos supervivientes de la circunnavegación, tomó primero el camino a Valladolid donde, según escribió, presentó “a la sacra majestad de don Carlos V, no oro ni plata, sino algo más grato a sus ojos. Le ofrecí, entre otras cosas, un libro, escrito de mi mano, en el que día por día señalé todo lo que nos sucedió durante el viaje”.

Hizo luego lo mismo con Juan III de Portugal y la madre regente del futuro Francisco I de Francia a la que regaló “algunas cosas del otro hemisferio”. Todas estas “cosas” formaban parte del catálogo de curiosidades de la naturaleza tan bienvenidas en la Europa del Renacimiento, constituyéndose además en la prueba más cierta y tangible de la nueva ruta abierta y de los nuevos descubrimientos realizados. Los coleccionistas de las curiosidades que traían los marinos de América y de las Indias Orientales se convertirán en los primeros catalogadores y descriptores de especímenes de un nuevo mundo natural, sentando las bases de las ciencias naturales: atesoran minerales y piedras preciosas, frutos exóticos como el coco, huevos extraños, pretendidos cuernos de unicornio, cara-

colas, plumas, animales disecados, etc. El gran logro final de Antonio Pigafetta fue la edición de su relato, publicado en París sin fecha conocida, pero entre los años 1526 y 1535, alcanzando con la transmisión de nuevos conocimientos la gloria y la fama que anhelaba.

En el programa de Magallanes, quizás siquiera en su pensamiento, no estaba dar la vuelta al mundo para regresar a España por occidente, ni demostrar la esfericidad de la Tierra. Que la Tierra era redonda era una evidencia que los inteligentes del momento admitían sin duda. Ya había globos terráqueos, como el de Martin Behaimmi de 1492, que representaba el mundo conocido antes incluso del descubrimiento de América. Los propios portugueses, con sus viajes hacia el sur costeano África y girando al este por el Cabo de Buena Esperanza, que Vasco de Gama superaría en 1497, habían comprobado, “por la elevación y descenso de la estrella polar y del Sol, que la Tierra formaba una línea curva del Norte al Sur; que, por consiguiente, tenía figura esférica, y que podía dársele la vuelta” (Ruiz Morcuende, 1922: 3). Con esta premisa, la llegada a la Especiería navegando hacia poniente era indiscutible, se tardara más o menos, lo verdaderamente difícil era encontrar el paso, si lo hubiera, que flanqueara por mar la enorme barrera de tierra que de norte a sur oponía al avance el continente americano. También se sabía de la existencia del Mar del Sur, futuro Océano Pacífico, desde que Vasco Núñez de Balboa lo avistara desde el istmo de Panamá en 1513, cuya extensión y penosa travesía habrían pronto de comprobar los hombres de Magallanes.

SE AMPLÍAN LAS FRONTERAS GEOGRÁFICAS

El descubrimiento de nuevos aspectos físicos y naturales de la Tierra era lo que se esperaba obtener del viaje y constituía, como dije, su fin principal. La ruta alternativa a las especias serviría también para eludir el sometimiento a las duras exigencias económicas que el monopolio turco de la distribución de las especias y otras mercaderías de oriente imponía a los reinos europeos. También se trataba de esquivar un segundo sometimiento a Portugal que, desde sus primeros viajes al Océano Índico, poseía acceso directo a las especias de las Molucas y el monopolio de aquella rentable ruta marítima. Hasta las islas de las especias habían llegado contados occidentales, pues las especias que traía Portugal eran transportadas en comercio por los propios isleños en juncos a Malaca, un fuerte portugués en Malasia, y a Calicut en India. Hasta 1512, no fundó Portugal un establecimiento en la pequeña isla moluquense de Ternate, en la ciudad del mismo nombre.

La principal preocupación de Magallanes una vez embarcado era la orientación en el mar: algo que constituía un enorme reto técnico. Esto se percibe en lo que se adquirió para preparar la expedición y en el cargamento de las naves. Según la *Relación del costo de la armada de Magallanes* en su apartado “Cartas de marear y cuadrantes y astrolabios y agujas y relojes que se dio á la Armada”, entre los gastos figuraba la compra de dos docenas de pieles de pergamino para hacer las cartas de marear, de las que doce fueron hechas por orden de Rui Faleiro, y once por Magallanes. Se dotaron de seis cua-

drantes y un astrolabio “de palo” hechos por Faleiro, seis astrolabios de metal con sus pautas, agujas de marear, otros 15 cuadrantes de madera, compases de latón, una caja de cuero para el plano esférico o modelo de esfera terrestre, y relojes de arena. También se cargaron muchos libros encuadernados con páginas en blanco, para hacer anotaciones y dibujos, de cuyo destino no tenemos noticias.

Una vez pasada la línea del ecuador, y con la aproximación al polo antártico, la expedición perdió paulatinamente de vista la estrella polar, desapareciendo por completo a partir del Trópico de Capricornio. Aproximadamente a esa altura no sólo la geografía y el mar son unos grandes desconocidos: el cielo también se vuelve indescifrable y hay que trabajar en su lectura, buscando analogías con la vieja bóveda celeste tan bien conocida y desarrollada por la astrología, la astronomía y el saber popular.

Con el avance de las naves llegó el momento de los descubrimientos. Desde las naos divisaron el 10 de octubre de 1520 la montaña que bautizaron Monte Vidi, el Montevideo capital de Uruguay, así como la desembocadura del río de Solís (actual Río de la Plata)². Este fue uno de los más importantes descubrimientos de la expedición de Magallanes. La enorme desembocadura de este río fue tomada como el ansiado paso al Mar del Sur, hasta que se percataron, como escribió Ginés de Mafra, de que era el “agua tan blanca que por experiencia quisieron ver qué era y probada hallaron ser agua dulce que causó en todos admiración y algún temor, sin ver tierra, de ver agua dulce” (VV. AA., 2018: 147). La sorpresa era justificada ¿cómo se explica el fenómeno de un mar dulce cuando en sus cabezas no cabía la enormidad de aquella desembocadura fluvial?

Más al sur, hallaron por fin el paso deseado el 21 de octubre de 1520, culminándose el mayor descubrimiento del viaje: la existencia de un estrecho franco por mar hacia el desconocido océano que llevaba a las Islas de las Especies. Una vez atravesado se internaron en de nuevo en el mar abierto con buenos vientos. Fue una suerte que durante la travesía no encontraran ninguna tormenta, muy frecuentes en esas latitudes, por lo que Magallanes le dio el nombre de *Pacífico*. Antonio Pigafetta comenzó ya a hacer sus primeras estimaciones, consciente de lo alcanzado y haciendo unos primeros cálculos globales de su situación en la esfera terrestre. Razona que:

“si al salir del estrecho hubiéramos continuado corriendo hacia el Oeste por el mismo paralelo, hubiéramos dado la vuelta al mundo, y, sin encontrar ninguna tierra, hubiésemos llegado, por el cabo Deseado, al Cabo de las Once mil Vírgenes⁴, puesto que los dos están en el 52° de latitud meridional” (VV. AA., 2018: 222-223).

Pero había que derrotar al Noroeste en busca de las especias. Navegaron durante tres meses y 20 días sin tocar tierra. Tras atravesar un océano prácticamente estéril en islas habitadas, en su aproximación a Indonesia fue aumentando la densidad insular y con ella los contactos con pueblos y costumbres diversas. Conforme avanzaba el viaje,

3. Juan Díaz de Solís, lo recorrió buscando el paso al océano en 1516.

4. Actual Cavo Vírgenes, en Argentina.

se ampliaban las fronteras de la comprensión del mundo y retrocedía el universo de lo fabuloso; se estrechaba cada vez más el territorio de los monstruos y los fenómenos fantásticos. Francisco López de Gomara razonó en sus escritos que durante toda la expedición se atravesó el Ecuador hasta seis veces, un área del planeta en la que de antiguo se pensaba que era imposible la vida por sus altísimas temperaturas. Este mito quedaba así definitivamente vencido.

Se hallaron lejanas y hermosas tierras, y la comprensión de las mismas fue inmediata. Vieron que sus habitantes eran amables, se organizaban en sociedad, vivían del comercio, tenían creencias y religión, sobrevivían en su medio y luchaban por sus intereses; y se descubrió que eran sociedades humanas. Pero también se comprobó que podían ser hostiles y celosos de su identidad, y que poseían armas para evitar abusos externos. Recordemos el episodio de Mactán y el final de Magallanes encontrando la muerte. Tras incontables tribulaciones, la expedición menguó en efectivos humanos y materiales, y se sucedieron las jefaturas hasta el punto de recaer la responsabilidad de la misión en Juan Sebastián Elcano, nombrado capitán de la nao *Victoria* el 17 de septiembre de 1521.

Las Molucas están formadas hoy por un conjunto de 632 islas, y continúan siendo conocidas como las “islas de las especias”. La expedición llegó a ellas con sólo dos naos, tras varios capítulos de pérdidas y deserciones, arribando a la isla de Tidore el 8 de noviembre de 1521. Dos años, dos meses y veintiocho días desde la partida de Sevilla. Esto significaba alcanzar el fin último de la misión, la certificación del éxito del proyecto de Magallanes. La llegada a las Molucas acabó con otro buen puñado de fábulas transmitidas generación tras generación, con origen en autores clásicos latinos como el historiador y geógrafo griego Herodoto. Comprobaron, por ejemplo, que la canela no se recogía de los nidos de los árboles, traída para su construcción de lejanas regiones por el Fénix mitológico; y Plinio el Viejo, el escritor y naturalista romano, erraba estrepitosamente al afirmar que la canela crecía en Etiopía en las cuevas de los trogloditas, porque realmente lo hacía en el suelo elevándose en altas ramas.

Otra realidad quedó de manifiesto para los navegantes, esta más relevante para el futuro de la geografía: que los portugueses no sólo habían guardado bien el secreto de la localización precisa de las islas en el mapa, sino que habían mentido sobre su accesibilidad en barco, propagando rumores para amedrentar a los marinos extranjeros: dijeron que las Molucas estaban situadas en un mar innavegable plagado de arrecifes, y estaban rodeadas de espesas nieblas. Todo este engaño, escribió Pigafetta, cayó de repente para revelar la auténtica verdad geográfica: que las islas eran accesibles por oriente y por occidente, y siempre sin impedimentos para la navegación. Había otra falsedad lanzada por los portugueses. Estos negaron la existencia de agua potable en las islas para impedir el acercamiento de naves sedientas y a la vez curiosas, diciendo que ellos mismos tenían que ir a por agua a lejanos países; pero las naves españolas se aprovisionaron de excelente agua en todas ellas (VV. AA., 2018: 288). La expedición incorporó, por tanto, un importante conocimiento para la geografía, la cartografía y la navegación. Las Molucas eran islas generosas en todo: alimentos, agua y especias. Un auténtico paraíso en la tierra y un tesoro para su propietario.

Antonio Pigafetta incorporó a su diario 21 mapas de nuevas islas, en los que delineó la América meridional y las islas del Pacífico e Indonesia por donde pasó la expedición. Son mapas poco precisos, en color y a los que se añadieron dibujos de sus habitantes, casas y detalles como las embarcaciones que usaban (juncos), así como de la vegetación autóctona; también recogió los nombres indígenas de las islas o con los que fueron bautizadas por los descubridores, para facilitar localizaciones por posteriores expediciones: la Isla de los Ladrones, la de Zubu, la de Mactán en Filipinas, Borneo, Timor, etc. Pigafetta suministró el primer material gráfico para la localización y navegación por estos mares, y con él los geógrafos y cartógrafos fueron ampliando la imagen del nuevo mundo hacia occidente.

Pero el camino abierto por Magallanes no satisfizo a la corona española. Es esta una consecuencia más del descubrimiento: un resultado negativo o, al menos, no esperado. El camino es largo, muy alto de latitud sur, con una climatología adversa de temperaturas muy bajas en invierno, áreas inhóspitas nada propicias para puertos de reabastecimiento, y un enorme océano Pacífico que dificultaba las escalas. El coste de una empresa de mercadería por esa larga ruta era excesivo y los riesgos sin número. España, por tanto, reactivó su tarea de encontrar un paso al norte o al sur de la equinoccial, pero cerca de ella, centrandó sus trabajos en el istmo de Panamá. Este asunto, forzado por los resultados de la expedición de Magallanes y Elcano, sirvió para activar la inventiva y los estudios técnicos del caso. Se buscó la conexión de uno a otro océano siguiendo cursos de ríos, localizando planicies que permitieran la habilitación de caminos de tierra cuando el río se volviera innavegable y, en último extremo, la posibilidad del transporte de la carga de una a otra flota, desde uno a otro océano. Incluso se consideró hacia 1534 el proyecto de abrir un canal en Panamá que conectara los dos mares, debatiéndose el problema del distinto nivel de las aguas entre océanos. López de Gomara dejó escrito: “Dadme quien lo quiera hacer, que hacer se puede; no falte ánimo, que no faltará dinero, y las Indias, donde se ha de hacer, lo dan [...]. Los que fuesen a los Malucos irían siempre de las Canarias allá por el Zodíaco y cielo sin frío, y por tierras de Castilla, sin contraste de enemigos”⁵. Con ello vemos cómo las adversidades obligan a aguzar el ingenio y a abrir nuevas vías para el avance.

Aun así España organizó una nueva expedición al Maluco por la ruta de Magallanes, e intentar asentar la propiedad sobre las regiones descubiertas: la capitaneada por García Jofre de Loaysa desde La Coruña en 1525, de resultado fatal. Le acompañó Juan Sebastián Elcano como piloto mayor. Loaysa murió el 30 de julio de 1526, en pleno Pacífico, sucediéndole un enfermo Juan Sebastián Elcano, que también sucumbió el 4 de agosto. La expedición llegó a las Molucas, se estableció en Tidore, pero la derrota de las fuerzas españolas por los portugueses de Ternate zanjó la cuestión. El uso comercial del Estrecho de Magallanes por los españoles quedó definitivamente descartado.

5. López de Gomara, 1553, Cap. CIV: 157.

UNA CONFERENCIA CIENTÍFICA: LA JUNTA DE BADAJOZ-ELVAS DE 1524

A la vuelta del viaje a España, con Elcano al frente, siguió sin resolverse el problema de la exacta localización de las Molucas en alguna de las dos áreas que marcaba la línea del Tratado de Tordesillas. Tanto Portugal como España siguieron reivindicando su soberanía sobre aquellos territorios por poder papal, pero ninguno de los cálculos de situación longitudinal del archipiélago era el correcto. Se produjo entonces un concierto entre España y Portugal, que arrancó con la llamada *Capitulación hecha entre el Emperador y el Rey de Portugal sobre los límites y posesión del Maluco*, del 25 de enero de 1524. En ella se acordó que por los dos países “se vea por justicia de astrólogos, pilotos y marineros, y letrados que él [el rey Juan III de Portugal] ha de nombrar y declarar por su parte, y Nos [Carlos V] por la nuestra, cuyo es el dicho Maluco, y en cuya demarcación cae, y así sobre la posesión de él [...]”⁶.

Se convocó una cumbre, una verdadera conferencia científica, entre las dos principales potencias marítimas del momento, para poner sobre la mesa todo el saber científico y técnico acumulado durante su vasta experiencia en viajes oceánicos. Cada parte nombró un equipo de tres astrólogos y tres pilotos y marineros, con participación de juristas para determinar la auténtica propiedad de las islas. Las reuniones se desarrollaron alternativamente en Badajoz y Elvas.

Por España fue lo más experimentado del momento en el arte de la navegación, Hernando Colón, los astrólogos “maestro Alcaraz” y el doctor Sancho de Salaya, este último catedrático de Astronomía y Astrología en la Universidad de Salamanca; y pilotos como Juan Sebastián Elcano, el cartógrafo y explorador italiano Sebastián Caboto y Juan Vespucio, sobrino de Américo, entre otros. Hernando Colón opinaba una obviedad: que lo primero e imprescindible era medir la esfera de la tierra y dar con el tamaño real del globo: “al cual dividieron los sabios en 360 partes o grados”. Medir el globo, ya lo admitía Hernando Colón, era difícilísimo pues si difícil era en tierra más lo sería por mar, con todas las variaciones de rumbo a que las corrientes y los vientos obligan, entre muchas causas. Además, se tiene ya la primera conciencia de que la masa de agua a nivel planetario era mayor que la de tierra. Así, Hernando Colón se inclinaba por el segundo método de los antiguos astrónomos, aun admitiendo también su dificultad: sería determinar cuántas millas náuticas (cuatro leguas), corresponden a 1° y multiplicarlo luego por 360. Lo que sí sabía Hernando, por su experiencia viajera acumulada, era que los cálculos de Aristóteles, Estrabón, Ambrosio, Teodosio o Ptolomeo, se quedaban cortos y eran usados por los cosmógrafos según sus intereses y la fe que tuvieran en cada uno de estos estudiosos. Por tanto, proponía medir los grados de la Tierra partiendo de cero, eligiendo “personas é instrumentos é lugar para hacer tal experiencia” y narraba toda una relación de complejos sistemas de medición que difícilmente, admitía, podían llevarse a la práctica u ofrecer una cifra aproximada a la realidad del tamaño de la Tierra⁷.

6. *Capitulación hecha entre el Emperador y el Rey de Portugal sobre los límites y posesión del Maluco*, del 25 de enero de 1524 (Archivo General de Indias, Leg. 1º, Papeles del Maluco de 1519 a 1547). Citado en Fernández de Navarrete, 1837: 321.

Por su parte Sebastián Caboto y Juan Vespucio mantenían que había que admitir las medidas de los astrólogos antiguos, eligiendo las de Ptolomeo, que favorecían a España, sin discutir su crédito, considerando en su informe que las islas de las Especias caían dentro de la línea de demarcación española. Finalmente estuvieron de acuerdo en apoyar esta defensa todos los astrónomos y pilotos españoles de la Junta de Badajoz. La postura portuguesa, por supuesto, fue absolutamente la contraria⁸.

En definitiva, aquel grupo de expertos de ambos países ni actuó con libertad, ni con independencia de pensamiento, pero lo que resultó más evidente es que tampoco procedió con conocimiento de fundamentos científicos fiables. La incapacidad técnica del momento tampoco dio respuesta a aquel torrente de dudas. De modo que cosmógrafos y pilotos no emitirían un informe que no tuviera un sentido favorable al rey al que servían. Además, se cruzaron acusaciones de ocultación de información, de falsedad en las cartas de navegación presentadas, o de muestra parcial de las mismas. En fin, que los ánimos se encendieron y todo se opuso a una resolución dialogada del problema. El final de la polémica se firmó con las *Capitulaciones de Zaragoza* de 22 de abril de 1529, y el compromiso de España de no reclamar derecho alguno sobre las islas, vendiéndoselos a Portugal por trescientos cincuenta mil ducados y tiempo indefinido.

UN DÍA DE ADELANTO

Una de las anécdotas más conocidas del viaje, y que dio mucho de qué hablar en los círculos científicos, fue la del día ganado al tiempo. El 9 de julio de 1522, en su viaje de regreso, la solitaria nao *Victoria* llegó exhausta a las Islas de Cabo Verde. Su piloto Francisco Albo, que había llevado el derrotero de todo el viaje anotando cada medición solar y posición de las naves, supo que creyendo que aquel día era miércoles, realmente era jueves, como le informaron en tierra (VV. AA., 2018: 103). Pigafetta también tenía anotado que era miércoles y se sorprendió bastante de aquel “error”, pues había apuntado meticulosamente cada jornada transcurrida de la larga expedición. Ese mismo 9 de julio escribió: “Supimos pronto que no era erróneo nuestro cálculo, pues habiendo nave-

7. *Parecer de Hernando Colón acerca de cómo argumentar los derechos de la Corona de Castilla sobre las Islas Molucas*. Archivo General de Indias, Sig.^a. Patronato, 48, R.17. Documento disponible en: <http://pares.mcu.es/ParesBusquedas20/catalogo/description/122501>. Consulta: 16/03/22.

8. López de Gomara nos cuenta que de los que asistieron a la junta de Badajoz-Elvas: “por Portugal, el principal era el licenciado Antonio de Acebedo Cotiño, Diego López de Sequeira, almotacén, que había sido gobernador en la India; Peralfonso de Aguiar; Francisco de Melo, clérigo; Simón de Tavira, que los demás no sé. [...] Estuvieron muchos días mirando globos, cartas y relaciones, y alegando cada cual de su derecho y porfiando terribilísimamente. Portugueses decían que las Malucas e islas de especias, sobre las cuales era la junta y disputa, caían en su parte y conquista, y que primero que Juan Sebastián las viese las tenían ellos andadas y poseídas [...], y partiéronse amenazando de muerte a los castellanos que hallasen en las Malucas, ca ellos ya sabían cómo los suyos habían tomado la nao Trinidad y prendido los castellanos en Tidore. Los nuestros se volvieron también a la corte, y dieron al emperador las escrituras y cuenta de lo que habían hecho”. López de Gomara, 1553, Cap. C: 153.

gado siempre al occidente, siguiendo el curso del Sol, al volver al mismo sitio teníamos que ganar veinticuatro horas sobre los que estuvieron quietos en un lugar; [y dice] basta con reflexionar para convencerse” (VV. AA., 2018: 323).

Unos veían el desliz por ser bisiesto el año 1520, pero la expedición tuvo en cuenta estos 29 días que trajo el mes de febrero. El historiador italiano Pedro Mártir de Anglería, en el que luego me detendré, escribió en una carta fechada en 4 de noviembre de 1522 que esto de que:

“en el transcurso de tres años, una flotilla [...] ha podido recorrer un paralelo entero dirigiendo siempre su proa hacia el sol poniente, de las cuales una ha vuelto por Oriente cargada de especias y clavo; y en esta travesía se ha encontrado un día de ventaja (son) dos hechos que parecen inadmisibles para los estómagos débiles” (Citado por Armillas, 2013: 220).

Pero él piensa igualmente que la *Victoria* en su viaje hacia el oeste, fue ganando horas a los días y al sol hasta su llegada a Cabo Verde, y adelantarse ese día en el calendario. “Los filósofos, decía, quizás discutan el asunto con argumentos más profundos, pero por el momento doy mi opinión, y nada más”.

BOTÁNICA APLICADA A LA CURACIÓN

El estudio y catalogación de especies botánicas no estaba sino en su germen en época de Magallanes. Se limitaba entonces a la descripción del espécimen, visual y sensorial (apuntes sobre su tamaño, color, olor, sabor o textura) y a delinear un dibujo más o menos pormenorizado del mismo. Pero sobre todo se experimentaba con su utilidad médica, con su aplicación para el remedio de los más variados males. Los nuevos descubrimientos en tierras americanas, africanas y orientales ampliaron el catálogo de plantas y hierbas que se preparaban y utilizaban en las boticas de toda Europa, complementándose con las relaciones de especies vegetales nacionales, que eran las mejor conocidas.

Pigafetta se transformó en esta ocasión en meticuloso observador de la biología botánica, ofreciéndonos una información de gran estima. Los viajeros descubrieron un nuevo mundo vegetal, habitado por extrañas plantas y frutos exóticos: piña, caña de azúcar, batatas dulces, bananas, cocos, y un largo etcétera de desconocidos manjares que encandilaron a los marinos. Conocieron la forma del árbol del clavo, los altos troncos de la canela, y observaron la destreza de los nativos en su cultivo, en campos roturados que aprovechaban los diferentes ciclos de crecimiento y maduración del fruto. Descubrieron la Canfora de Borneo, es decir el alcanfor o resina del árbol alcanforero, muy valorada allí para embalsamar los cadáveres, y que la medicina europea empleará luego como un anestésico local efectivo, y un antimicrobiano usado en pomada. Toparon con islas ricas en el apreciado sándalo, cuya madera destilada se usaba en perfumería y era muy útil para la talla. De todo ello se trajeron muestras en la *Victoria*, pues no solo de especias ocupaba plenamente sus bodegas. Muchos de estos especímenes fueron regalados

al, desde 1520, emperador del Sacro Imperio Romano Germánico, Carlos V. López de Gomara también fue conocedor de estos hallazgos a través del testimonio de los supervivientes, que le hablaron de todas aquellas “infinitas cosas de gran valor y riqueza, así para medicina como para gusto y deleite”⁹.

Pero la especie vegetal que más sorprendió fue el árbol del clavo o clavero, productor de una pequeñísima flor, aún no abierta, que era el tesoro más buscado, y que despertaba gran interés tanto en Maximiliano Transilvano, según plasmó en su informe como secretario de Carlos V, como en Pigafetta (VV. AA. 2018: 60). Este último cuenta que:

“tiene una gran altura y su tronco es tan grueso como el cuerpo de un hombre, más o menos, según su edad; sus ramas se extienden mucho hacia el medio del tronco, pero en la copa forman una pirámide; su hoja se asemeja a la del laurel, y la corteza es de color aceitunado; los clavos nacen en la punta de las ramitas, en grupos de diez a veinte; da más fruto en un lado que en otro, según las estaciones; los clavos son al principio blancos, al madurar rojizos y al secarse negros” (VV. AA. 2018: 292).

Y describió sus cosechas, dos al año, y los cuidados que con ellos tenían sus propietarios.

La misma descripción hizo Pigafetta con la nuez moscada, que comparó, cuando se cosecha, con un membrillo pequeño por el color y la pelusilla que la cubre. Describió someramente su estructura interna y trató, tanto con esta como otras especies vegetales, de acercar su visualización lo más posible al lector aficionado a la botánica, comparándolas con otras ya conocidas en el viejo continente. El 25 de noviembre de 1521 se embarcaron en las naos los primeros clavos, lo que constituía el principal objetivo del viaje, tan deseado aquel momento, que se celebró con disparos de artillería (VV. AA. 2018: 294).

EL TESTIMONIO DE PEDRO MÁRTIR DE ANGLERÍA

Voy a detenerme en una de aquellas figuras que recogió y desarrolló todo lo recopilado por la expedición cuando desembarcó en Sevilla en 1522. Se trata del historiador y humanista italiano Pedro Mártir de Anglería (Arona, c. 1456, fallecido en Granada setenta años después). Estuvo al servicio de los Reyes Católicos como educador de la nobleza cortesana en las llamadas artes liberales, como la gramática, la retórica, la dialéctica, la aritmética, la geometría, la música o la astronomía. En sus escritos nos contó que abandonó Italia en dirección a España porque era en este país, y en Sevilla concretamente, donde se concentraba el mayor número de noticias y novedades dignas de estudiar, de las que proporcionaban los nuevos mundos descubiertos. También llegó buscando la estabilidad política y el sosiego bélico logrado por los Reyes Católicos,

9. López de Gomara, 1553, Cap. XCI: 137.

algo de lo que no gozaba en una Italia convulsa en estos sentidos. En 1518 fue nombrado consejero de Indias por Carlos I, y con su obra *Décadas de orbe novo*, se convirtió en el cronista global del descubrimiento y colonización de América, ganándose el calificativo de “primer historiador del Nuevo Mundo”¹⁰, siendo, además, coetáneo de los hechos que narró y estableciendo contacto personal con sus protagonistas. Fue encargado de recabar datos y noticias relevantes de los 18 marineros de la expedición de Magallanes que llegaron en primera instancia y las escribió el mismo año de regreso de la *Victoria*, en 1522. No fue, por cierto, ese el número real de personas que arribaron en la nao en Sevilla, pues nos asegura que Elcano trajo consigo algunos nativos, al menos tres¹¹.

Pues bien, el interés de Pedro Mártir de Anglería, se centró fundamentalmente en el reino de lo curioso. Cuenta en el Libro VII de su *Quinta Década*, dedicado al papa Adriano VI, la existencia en las Molucas de abundantes berros (*Nasturtium aquaticum*), y la hierba venenosa llamada anapelo (*Acónito común*); y la abundancia que había en naranjas, limones, cítricos, granadas y todo tipo de hierbas. Se aprovechaban como alimento, pero sobre todo interesaba su aplicación médica. Los berros y el acónito se ingerían a veces al comienzo de una comida para mejorar la digestión, servidos con aceite y vinagre. Pero advertía Pedro Mártir sobre usar el acónito con mesura pues era altamente tóxico, pudiendo llegar a ocasionar la muerte.

También le llamaron mucho la atención las particularidades del extraño y rico fruto de la palmera, el coco, que describió fielmente como si los tuviera en sus manos (de lo que inferimos que llegaron cocos en la *Victoria*) y del que dijo que se extraía un excelente aceite para el tratamiento de los enfermos. Y, curiosamente, sobre las especias como el clavo, la pimienta o el jengibre, tenía una chocante opinión: que eran del tipo de delicias “innecesarias que hacen al hombre afeminado”. Parece que no le interesaban en absoluto, e incluso los llegaba a rechazar, esos usos sensuales de las especias, los más extendidos por otra parte, como servir de aderezo a las comidas o añadirles exóticos aromas a los perfumes, a los que consideraba un debilitador del carácter masculino. Tenía más curiosidad, eso sí, por su aplicación práctica al tratamiento de enfermedades, o por el estudio meramente botánico del clavo, en el que indagaba describiendo incluso las ramas del árbol con el fruto, pues tuvo a su vista las traídas por los sobrevivientes de la expedición de Magallanes. Cuenta Pedro Mártir de Anglería, efectivamente, que los españoles no sólo cargaron los clavos recolectados, sino que trajeron algunas ramas con el fruto aún colgando de ellas, y que a todos los cortesanos les complació mucho ver estas ramitas y observar la fruta que todavía crecía en los tallos. Decía que el olor de los clavos recién recolectados no era muy diferente al de los vendidos por los boticarios (por tanto mantenían con el tiempo su propiedades odoríferas) y decía también que le dieron muchas de estas ramas y que las distribuyó en diferentes direcciones, reservando incluso algunas para hacérselas llegar al propio papa de Roma.

10. De la información biográfica de Pedro Mártir de Anglería en <http://dbe.rah.es/biografias/10770/pedro-martir-de-angleria>. Consulta: 16/03/22.

11. Fernández de Oviedo, 1535, Libro XX, cap. IV: 32.

Como testimonio del gran momento que para la ciencia inició el viaje de Magallanes-Elcano, Pedro Mártir de Anglería afirmó en una de sus *Cartas latinas*: “No abandonaré de buen grado a España hoy, porque estoy aquí en la fuente de las noticias que nos llegan de los países recién descubiertos, y puedo esperar, constituyéndome en historiador de tan grandes acontecimientos, que mi nombre pase a la posteridad” (Citado en Rey Pastor, 1942: 18). Personalizó, con ello, un pensamiento y aspiración netamente humanista y marcadamente renacentista: llegar a la fama y la gloria por las letras y el saber, no sólo, como muchos pretendían, por las armas y la fortuna material.

UNA ZOOLOGÍA REAL FRENTE A UNA ZOOLOGÍA MITOLÓGICA

La nueva fauna que encontraron a su paso fue quizás lo que más sorpresa e interés causó en los viajeros; por su exotismo y rareza, pero también por su viabilidad como fuente de nutrientes. El 27 de febrero de 1520 hallaron en la deshabitada bahía del río Santa Cruz en Argentina, muchos lobos marinos de los que cazaron ocho ejemplares, “los cuales se matan dándoles en el hocico”, según Ginés de Mafra (VV. AA. 2018: 157). Vieron también papagayos de múltiples colores, que aprenden y repiten las palabras, y monitos, que a Pigafetta le parecieron “como gatos” (VV. AA. 2018: 201). El pecarí, con “el ombligo en la espalda” (confundiéndolo con glándulas odoríferas) y las aves “cuchara” o espátulas. Ante la falta de nombres, Pigafetta describió las nuevas especies por comparación con las morfologías de animales conocidos en Europa, aplicando unas rudimentarias reglas taxonómicas. Encontraron pingüinos, que comparó con patos y que sirvieron de alimento, y vacas marinas; mejillones, avestruces (en realidad ñandúes) y zorros bautizados luego como “can de Magallanes” (VV. AA., 2018: 211). Además, peces voladores y murciélagos gigantes que también comieron (sabía, aseguraron, a gallina), el guanaco (que definieron como un camello sin joroba), tapires, cuya carne también probó la expedición. Y en el Pacífico, nos cuenta Francisco Albo, se pescaron tantos tiburones que bautizaron una isla con este nombre (VV. AA. 2018: 79).

En Borneo descubrieron extraños jabalíes (el babirusa), cocodrilos, ostras, mariscos de todas clases y tortugas muy grandes. Dio también la expedición con los que Antonio Pigafetta creyó ser “hojas animadas”. Se trataba del insecto hoja y se encargó de realizar una descripción y unos experimentos rudimentarios para intentar explicar aquel extraño fenómeno. Decía que caían estas hojas de unos árboles y que al llegar al suelo se animaban: “son semejantes a las hojas de la morera, o más largas, con peciolo corto y puntiagudo, y cerca del peciolo, a ambos lados, tienen dos pies. Si alguien tropieza, se escapan; pero al partirlas no sale sangre. Guardé una durante nueve días en una caja, y cuando la abría se paseaba alrededor; creo que viven del aire” (VV. AA. 2018: 277). Este increíble insecto, es en realidad una especie de saltamontes que vive en la parte malaya de la isla de Borneo y ha evolucionado para camuflarse entre las hojas de la selva. Todavía, hace pocos años, se descubrieron nuevas variantes de este animal. Pigafetta pudo haber sido el descubridor y seguro primer descriptor de uno de los miembros de esta especie singular.

De entre las especies animales observadas por los marinos de Magallanes, sin duda, la que más atención e interés acaparó fue la *manucodiata* o *ave de los dioses*, y las historias que los indígenas contaban de estos pájaros. Son lo que hoy conocemos como *Aves del Paraíso*, animales de exuberante y colorido plumaje a los que, según la tradición (europea, pues algunos especímenes disecados se conocían ya), nunca se habían visto posados en rama de árbol o en tierra, de modo que siempre habían sido divisados en vuelo, y así vivían hasta que morían cayendo precipitados desde el cielo. ¿Por qué ocurría esto?, porque se pensaba que no tenían patas. Aunque, por ejemplo, Gonzalo Fernández de Oviedo, que llegó a poseer una regalada por el marino Andrés de Urdaneta, le tocaba dos pequeños muñones bajo las plumas donde debían colocarse naturalmente las patas¹². Esta particularidad generaría deliciosos debates entre los aficionados y coleccionistas de curiosidades de la naturaleza¹³.

Una vez muerto, la leyenda decía que el cuerpo del ave del paraíso no se corrompía y si se le arrancaba una pluma esta volvía a crecer. La *manucodiata* siempre estuvo asociada con los reyes de las Molucas, que procuraban tenerlas cerca de sí en la creencia de que ofrecían protección contra los ataques del enemigo. Adornaban sus vestimentas con sus plumas protectoras. El pueblo en general, parece que no creía en estas historias y no veían en el animal sino a una hermosa ave. La expedición de Magallanes trajo a España algunos ejemplares muertos. El ave del paraíso ya era conocido en Occidente, como he dicho, pero fue Pigafetta el primero en hacer ver que, en contra de lo que se creía, este pájaro sí tenía patas. A los ejemplares que llegaban a occidente, los propios nativos les cortaban las patas y las alas por para disecarlas en origen, de ahí el error y la creencia de que no volaban, mantenida incluso en testimonios del siglo XIX (VV. AA., 2018: 301).

Pigafetta no dejó de manifestar su asombro y maravilla por los prodigios que la naturaleza puso ante sus ojos gracias al viaje, y que trató de describir con el máximo rigor que su limitado conocimiento de la Historia Natural le permitió. Se vio también sorprendido por narraciones fantásticas transmitidas por las poblaciones nativas. Se referían a fenómenos de su tradición mitológica, pero que nuestro cronista incorporó a su relato por si acaso fueran realidad; solo hablaba de seres extraños o mitológicos cuando no los había visto, cuando la información de su existencia le venía dada por parte de las poblaciones que les adoraban o les temían. Le hablaron de islas pobladas por pigmeos de grandes orejas, de islas (Ocolora, al sur de Java la Mayor) pobladas exclusivamente por mujeres que son fecundadas por el viento, o de pájaros gigantes capaces de levantar un búfalo con sus garras. Se ha reprochado a Pigafetta el anotar estas patrañas, pero no pienso que las creyera todas, sino que las reflejaba como curiosidad etnológica; aunque visto lo visto por la expedición podía algún día confirmarse que eran reales. Algo similar había hecho Marco Polo tras sus viajes unos doscientos treinta años antes en su

12. Fernández de Oviedo, 1535. Libro VI, cap. XV.

13. Puede hallarse información ampliada y testimonios sobre estos debates, así como sobre la consideración simbólica dada al ave del paraíso durante los siglos XVI y XVII, en el artículo de García Arranz, José Julio (1996). "Paradisea avis: la imagen de la naturaleza exótica al servicio de la enseñanza didáctico-religiosa en la Edad Moderna". Norba Arte, XVI, pp. 131-152.

Libro de las maravillas, con el que el relato de Pigafetta guarda ciertas semejanzas por su intención y los temas que captaron su interés, así como por la forma de exponerlos.

REMEDIOS PARA ENFERMEDADES SIN REMEDIO

Los descubrimientos geográficos que portugueses y españoles realizaron desde finales del siglo XV propiciaron un enorme aumento de la nómina de productos curativos utilizados por la medicina europea (López Piñero, 2017: 129). Entre los más conocidos especialistas que estudiaron y se sirvieron de sus beneficios estuvo el médico sevillano Nicolás Monardes (ca. 1493-1588) En su obra *Historia medicinal de las cosas que se traen de nuestras Indias occidentales que sirven en medicina* (1565-1574), describió más de cien productos naturales americanos aplicados a la medicina. Sus contactos en la Casa de Contratación de Sevilla le permitieron entablar relación directa con los marineros y pasajeros de las naves recién llegadas al puerto sevillano. Era de estos humanistas que como Pedro Mártir de Anglería, esperaban ansiosos a pie de muelle las cargas de novedades con que bajaban los navegantes; y entre ellas la de la amplia gama de productos vegetales, minerales y animales que los nativos empleaban para sus curaciones, y que aquí experimentaban y adaptaban los doctores más inquietos y arriesgados. De sus indicaciones y preparación le informaban los mismos viajeros recién llegados. Monardes nos habla, por ejemplo, de una pimienta de las Indias Occidentales (la América de los españoles, que no hay que confundir con la India Oriental, monopolizada por Portugal) el pimientillo o chile, que se cultivaba mucho en los jardines y huertos particulares de Sevilla. Era más barata, por supuesto, que la traída por los portugueses del Maluco, pues era de fácil cultivo; pero se usaba igual que las especias orientales en los guisos y salsas, haciéndolos todos más sabrosos. También se empleaba la pimienta americana en la elaboración de medicamentos para el pecho, contra los gases y flatulencias (por sus efectos carminativos), etc. (Monardes, 1574:26). Nicolás Monardes ejercita una defensa y reivindicación de los productos vegetales de las Indias españolas al hablar, por ejemplo, de la nuez moscada, un leño aromático traído de América, que pone a un más alto nivel de aroma y sabor que la canela y la pimienta del Maluco. El médico considera también que los árboles y plantas americanas tienen grandes virtudes medicinales, pudiendo sustituir a los remedios procedentes de oriente (Monardes, 1574:39).

Monardes declaraba la independencia de España de los mercados de oriente, perdido, como estaba ya, su control. Aunque, no obstante, seguía usando de la pimienta oriental o la canela por sus indudables “virtudes medicinales”. Realmente, ingredientes como la canela, la pimienta, la nuez moscada, o el jengibre se añadían a los compuestos medicinales más bien para suavizar y hacer más admisibles y aromáticas las mezclas de ingredientes fuertes y de sabor desagradable, y no aumentar así las penalidades del enfermo.

El estado de la medicina, su capacidad curativa, en época de la circunnavegación era, en cualquier caso, muy limitado y entregado a la administración de los remedios sin verdadero sentido utilitario. Todo el equipo médico y las cosas de botica de la expedi-

ción se cargaron en la nao capitana, la *Trinidad*. La *Relación del costo de la armada de Magallanes*, conservada en el Archivo de Indias, nos cuenta que se componía de “medicina y ungüentos y aceites y aguas destiladas”, por un valor de 13.027 maravedíes, y poco más. También se incluía “un almirez (mortero de cobre) con su mano para las cosas de botica”, por 125 maravedíes. En la *Trinidad* iba también un cirujano, Juan de Morales (conocido como el *bachiller Morales*), que era de Sevilla. Este material y los limitados conocimientos médicos del momento no pudieron hacer frente a las mil y una contingencias sanitarias que se produjeron durante la expedición.

Durante la travesía del Pacífico apareció en la tripulación el terrible escorbuto, una enfermedad causada por un déficit grave de ácido ascórbico (Vitamina C), y muy frecuente en los marinos, que no ingerían frutas ni verduras frescas durante las travesías muy prolongadas. Documentada ya en textos clásicos griegos y romanos ha llegado a calificarse como “la peste de las naos”. Con una dieta basada en carne salada, frutos secos, cereales, etc. el simple hábito de añadir cítricos a la ración hubiera solucionado el problema. Pero entonces se tenía un absoluto desconocimiento de todo esto. Pigafetta relató cómo las encías de las dos mandíbulas se hinchaban hasta tapar los dientes, sangraban e incapacitaban para ingerir alimentos. El único alivio para el escorbuto administrado a los hombres de Magallanes, según cuenta Ginés de Mafra, fue el de los enjuagues bucales de agua marina y orines, lo que no evitó que murieran decenas de ellos (VV. AA. 2018: 163). Este marino de la *Trinidad*, amplió la descripción de los síntomas del escorbuto, cuando vio que al abrir los cadáveres se descubrieron venas abiertas y grandes hemorragias en la cavidad interna del cuerpo. La práctica de estas autopsias rudimentarias era habitual en los barcos cuando se producía una muerte. Abrían el cuerpo de parte a parte en busca de síntomas extraños, como la presencia de lombrices en los intestinos o una coloración anormal en las vísceras, buscando quizás una manifestación física de un mal que nadie sabía cómo entraba en el cuerpo y, por supuesto, nadie sabía cómo extraerlo.

Mientras esto padecían en alta mar los hombres de Magallanes, el miedo a la enfermedad también atenazaba a Sevilla. Al menos desde 1506, de Portugal llegaron noticias de la aparición de focos de peste ante los que la ciudad erigió su particular cordón sanitario. El cabildo municipal creó la figura de los “guardas de la peste” para preservar a la ciudad y su término de la enfermedad, junto a los jurados y alguaciles nombrados para la prevención contra la peste. Se situaban en las puertas de la ciudad, en los campos y patrullando en embarcaciones en el río, controlando la entrada de personas procedentes de zonas infectadas. Para reforzar la defensa, a veces se cerraban permanentemente algunas puertas de la ciudad y aseguraban el control sobre las restantes mientras duraba la amenaza cierta de la peste. El municipio libraba grandes cantidades en sus salarios: desde primeros de junio a finales de julio de 1519 se pagaron 83.082 maravedíes en sueldos (Kirschberg, 2017: 164). Pero también se costeaban las misas cantadas y rezadas dadas por los conventos rogando protección, así como la cera que se gastaba en los oficios. Todas estas medidas de contención no pudieron evitar que en 1524 la peste estuviera declarada plenamente en Sevilla, aunque no con la virulencia de años anteriores.

Cuando reconstruimos situaciones históricas, a veces puede hacerse un ejercicio interesantísimo al interconectar situaciones, lugares y personajes que muy alejados unos de otros no interfieren en el discurrir de diferentes hilos argumentales, pero que guardan una relación profunda si podemos sacarla a la luz. Muchos de estos pagos en remedios contra la peste fueron firmados por el comendador, caballero veinticuatro y antiguo alcaide del Alcázar Real y de las Atarazanas de Sevilla, Diego de Barbosa. Barbosa era portugués y amigo y mentor de Magallanes en Sevilla desde su llegada a la ciudad el 20 de octubre de 1517. Su hija Beatriz Barbosa acabó siendo la esposa de Magallanes, y su hijo Duarte Barbosa, también portugués, acompañó a la expedición de Magallanes, llegando a capitanear la *Victoria* y siendo asesinado en un complot en la Isla de Cebú.

Volviendo a la vida de nuestros afligidos navegantes, hemos de advertir que, para su mal, la solución a la enfermedad escorbútica habría de tardar más de dos siglos en llegar; al menos el conocimiento de su solución, que también podría haber sido efectiva para los hombres de Magallanes, de no mediar importantes ignorancias científicas. Se atribuye a James Lind, un médico escocés que sirvió en la armada británica, el descubrimiento en 1747 de la cura del escorbuto con la administración de Vitamina C. Llegó a tal hallazgo tras múltiples ensayos de dietas con pacientes afectados. De modo que las flotas británicas se abastecieron desde entonces con buenas cantidades de limones y fruta fresca. Pero podemos presentar aquí indicios que apuntan a que más de cien años antes que Lind podría haberse dado con esta misma solución al problema por parte de la marina española. La experiencia española y portuguesa en largos viajes oceánicos y en la adecuada selección de las provisiones de la flota pudieron haber adelantado este descubrimiento. Para los hombres de Magallanes podía ser evidente que la alimentación era la causante de la enfermedad, pues: solo aparecía en travesías largas sin tocar puerto y no parecía ser una afección contagiosa. Esto pudo llevar con el tiempo a la comprobación de que un aporte de frutas ricas en vitaminas era la solución al problema. ¿Por qué lo digo? Porque en una flota que partió para Filipinas desde Sevilla en 1617 se cargaron 600 azumbres (unos 2.100 litros) de zumo de limón embotellado para consumo de la marinería. En la relación de gastos del viaje se especifica que el jugo debía entregarse por sus proveedores “recién exprimido, colado y limpio”, mezclándose luego con aceite para facilitar su conservación. Como complemento se embarcaron frutas y verduras de consumo inmediato y frutos secos, conservas en almíbar, compotas y dulces, aunque estos no mantienen niveles de Vitamina C notables. Esta extraña carga parece justificar su empleo medicinal, o más bien preventivo, aunque de poco sirvió entonces el remedio contra el escorbuto, pues esta expedición de 1617 naufragó en la Bahía de Cádiz al poco de partir.

En la descripción del estrecho de Magallanes, Pigafetta nos habló de la existencia de abundantes hierbas comestibles, y una de ellas una especie de apio dulce, del que comieron mucho. Este *Apium dulce* y su abundancia, fue descrito también por Cook, así como mucha “cloquería”, reconociendo a los dos como hierbas antiescorbúticas, por lo que creyó preferible el paso por el estrecho al de cabo de Hornos (VV. AA., 2018: 217).

La medicina en estos siglos convivía con la tradición y la superstición. Cuando los españoles fueron a recuperar una barca que le robaron unos nativos en la Isla de los

Ladrones, descubierta por la expedición, matando por ello a siete nativos, los marineros enfermos que quedaron en los barcos pidieron que les trajeran los intestinos de los muertos, pues se pensaba entonces que sus vísceras disecadas tenían facultades curativas (VV. AA. 2018: 225). Y cuando la *Victoria* hizo su regreso a España, pasado el Cabo de Buena Esperanza, Pigafetta hizo una extraña aportación a la sintomatología *post mortem*, que no sabemos qué repercusión pudo tener en los debates médicos de la época, pues observó que desde que dejaron las Islas Molucas habían perdido veintiún hombres, entre cristianos e indios, y que al arrojarlos al mar los cadáveres de los cristianos se hundían siempre cara al cielo, y los de los indios, boca abajo, cara al mar¹⁴.

NUEVOS DATOS PARA UNA CARTOGRAFÍA EN CONSTANTE REVISIÓN

Gracias a los nuevos descubrimientos geográficos como los de la expedición de Magallanes, gracias a la aproximación a la auténtica dimensión del mundo en miles de aspectos diferentes, el Renacimiento se fue desligando poco a poco de la dependencia y devoción de los conceptos de mundo, universo y ciencia de la antigüedad clásica. Ptolomeo o Aristóteles fueron perdiendo autoridad. El culto al saber antiguo convivió con el paulatino crecimiento del conocimiento racional alcanzado por el hombre moderno; las fronteras, los fenómenos naturales, la diversidad del género humano, se comprueba, describe y asienta directamente visualizada por el hombre de acción y experiencia práctica en la exploración del mundo en el que habita.

La matemática, la astronomía, la cartografía, los instrumentos para la navegación, avanzaron haciéndose más complejos y precisos. Los mapas debían corregirse constantemente, y ampliarse su trazado incorporando las nuevas tierras descubiertas. Y es aquí donde el viaje de Fernando de Magallanes, llevado a buen puerto por Juan Sebastián Elcano, hizo su mayor aportación: una nueva conciencia física del mundo, de su diversidad y su morfología, y la delimitación de sus auténticas fronteras por medio de la cartografía.

Nuño García de Toreno, maestro de hacer cartas de navegación en la Casa de la Contratación de Sevilla (y probablemente también sevillano), presente en las reuniones de Badajoz-Elvas, realizó su *Carta del Sur de Asia* en 1522, situando a las Molucas en territorio español. Esta nueva cartografía fue vital para hacer valer la propiedad de la tierra descubierta; la perfecta delineación de sus formas y la ubicación precisa se impusieron como documento probatorio de la posesión.

Atribuido a Juan Vespucio, sobrino de Amerigo Vespucio y también vinculado a la Casa de la Contratación de Sevilla, es la *Gran carta marítima universal* (como se define

14. El profesor José Luis Comellas opinaba que “posiblemente una pequeña casualidad le permitió generalizar una regla absolutamente carente de verosimilitud. No es original, porque algo por el estilo puede leerse en Plinio cuando se refiere a los cadáveres de los romanos y de los bárbaros. Lo que cuenta no es creíble ni tiene importancia histórica, pero muestra que el italiano era un humanista bastante leído” (Comellas, 2019: 175-176).

en los registros del inventario). Se considera una copia literal, de gran interés científico, del *Padrón Real* (aquellas cartas o mapas que reproducen estrictamente los límites de las costas de las tierras conocidas de las que existían cartas náuticas, omitiendo elementos especulativos o fantasiosos y dejando en blanco lo no conocido). El mapa se hizo antes de la Junta de Badajoz (anterior por tanto a 1524), plasmando los datos ofrecidos por los supervivientes del viaje de Magallanes, con el Océano Pacífico plasmado al completo.

De los cosmógrafos que trabajaron en la Casa de Contratación de Sevilla, destacó también el portugués Diego Ribero, que llegó a Sevilla en 1518 y colaboró en la organización del viaje de Magallanes, sin formar parte de la expedición. Estuvo en las reuniones de Badajoz-Elvas. Realizó en 1529 la *Carta Universal*, primer mapa que mostró por completo el mundo que Juan Sebastián Elcano había circundado, incluyendo el estrecho de Magallanes y la costa americana. Otra obra cartográfica que refleja los resultados de la primera circunnavegación a la Tierra, es el mapa atribuido a Battista Agnese de 1544, que muestra una línea marcando el itinerario de la circunvalación.

Como hemos visto, toda la información de la expedición de Magallanes, en forma de diarios, cartas e informes oficiales se incorporó al caudal de nuevos conocimientos que llegaron a la Casa de la Contratación, convertida en el mayor centro científico de la Europa del momento. Lamentablemente se perdió, o permanece inédita, mucha más documentación (el propio diario de a bordo de Fernando de Magallanes o una relación escrita por Elcano, entre otros). Estos documentos aportaban una descripción de las cosas del mundo, más que una verdadera comprensión de los fenómenos naturales, que no empezará a darse hasta el desarrollo del método científico durante la revolución del pensamiento del siglo XVII, y servirá para que en Portugal, España, Inglaterra y Francia se funden escuelas de navegación donde se albergue y desarrolle todo este preciado saber.

Sevilla se convirtió en una de las principales urbes europeas productoras y difusoras de conocimiento científico y técnico. Saber geográfico y cartográfico, botánico y zoológico, antropológico y cultural que tan bien divulgaron autores como Antonio Pigafetta, Pedro Mártir de Anglería o Nicolás Monardes. Ellos fueron parte de esa comunidad que en la segunda década del siglo XVI, concentró en la ciudad el saber de diversas disciplinas, dando a las imprentas el mayor número de libros científicos de todo el país. Este era el magnífico resultado que se obtenía de las arriesgadas misiones en las que se embarcaban los navegantes como Magallanes y Elcano, que volvían no sólo con oro y plata (o como es el caso, con exóticas especias), sino con conocimiento, algo de mayor estima que la fortuna material para contribuir a la ampliación de las fronteras del mundo y de las ciencias.

BIBLIOGRAFÍA

- ARMILLAS VICENTE, JOSÉ A. (2013). “Pedro Mártir de Anglería, contino real y cronista de Castilla. La invención de las nuevas Indias”, en Dossier: *Jerónimo Zurita y los cronistas de Aragón*, 88, pp. 211-229.
- BERNAL, JOHN DESMOND (1979). *Historia social de la ciencia I. La ciencia en la historia*. Barcelona: Ediciones Península.

- COMELLAS, JOSÉ LUIS (2019). *La primera vuelta al mundo*. Madrid: Ediciones Rialp, S.A.
- Fernández de Navarrete, Martín (1837). *Colección de los viajes y descubrimientos que hicieron por mar los españoles desde fines del siglo XV, con varios documentos inéditos concernientes a la historia de la marina castellana y de los establecimientos españoles en Indias*. Tomo IV. Madrid: Imprenta Nacional.
- FERNÁNDEZ DE OVIEDO Y VALDÉS, GONZALO (1535). *Historia general y natural de las Indias*. Libro XX, cap. IV.
- GARCÍA ARRANZ, JOSÉ JULIO (1996). “Paradisea avis: la imagen de la naturaleza exótica al servicio de la enseñanza didáctico-religiosa en la Edad Moderna”. *Norba Arte*, XVI, pp. 131-152.
- KIRSCHBERG SCHENCK, DEBORAH (2017). *Catálogo de los Papeles del Mayordomazgo del siglo XVI*, vol. III (1516-1526). ICAS. Ayuntamiento de Sevilla.
- LÓPEZ DE GOMARA, FRANCISCO (1553). *Historia General de las Indias*. Cap. XCI, XCVIII, C y XCVIII.
- LÓPEZ PIÑERO, JOSÉ MARÍA (2017). *Breve historia de la medicina*. Madrid: Alianza Editorial.
- MÁRTIR DE ANGLERÍA, PEDRO (1989). *Décadas del Nuevo Mundo*. Madrid: Ediciones Polifemo.
- MONARDES, NICOLÁS (1574). *Primera y segunda y tercera partes de la Historia medicinal de las cosas que se traen de nuestras Indias occidentales que sirven en medicina [...]*. Sevilla: En casa de Alonso Escribano.
- PIGAFETTA, ANTONIO (1922). *Primer viaje en torno del globo*. Edición del IV Centenario. Ruiz Morcuende, Federico (Versión castellana). Madrid: Calpe
- RUIZ MORCUENDE, FEDERICO, EN PIGAFETTA, ANTONIO (1922). *Primer viaje en torno del globo*. Madrid: Calpe.
- REY PASTOR, JULIO (1942). *La ciencia y la técnica en el descubrimiento de América*. Madrid: Espasa-Calpe.
- VV. AA. (2018). *Juan Sebastián de Elcano, Antonio Pigafetta, Maximiliano Transilvano, Francisco Albo, Ginés de Mafra y otros. La primera vuelta al mundo*. Madrid: Miraguano Ediciones.

INTRODUCCIÓN DE LA CIENCIA EN LA NUEVA ESPAÑA. COLABORACIÓN CON LA INDEPENDENCIA DE MÉXICO, 1821

*Conferencia pronunciada por
el profesor Manuel Castillo Martos,
dentro del ciclo “Historia y Filosofía
de la Ciencia y de la Técnica”,
el día 7 de junio de 2021.*

RESUMEN

La llegada de la ciencia europea a los virreinos americanos, produjo la aculturación científica y una indianización o criollización de lo europeo en aquellos territorios, lo que propició la fundación de universidades.

A la Ciencia Moderna no le importaba el *qué* de los fenómenos, sino el *cómo* tienen lugar, por lo que necesitaba de experiencias para conseguir evidencias. En el siglo XVII algunas escuelas de Órdenes fueron las principales propagandistas de las nuevas teorías, y contaron con el apoyo de los hombres de ciencia novohispanos, e intentaron alejarse de la escolástica decadente, conjugando un estudio ponderado de los sistemas modernos.

Las ciencias que mayor interés tuvieron son mecánica, óptica, acústica, termometría, electricidad, magnetismo, meteorología, y sus instrumentos. Y sobre todo mineralogía, minería y metalurgia, por su conexión con los trabajos para obtener plata de sus minerales. El Centro que capitalizó estas enseñanzas fue el Real Seminario de Minería de México, convirtiéndose en el más importante para la docencia teórica y práctica. En el que algunos profesores y alumnos participaron en la Independencia de México en 1821, siendo el más destacado Andrés Manuel del Río Fernández.

ABSTRACT

The arrival of European science to the American viceroyalties produced scientific acculturation and an Indianization or creolization of the European in those territories, which led to the foundation of universities and teaching canter's specialized in mining, metallurgy and mineralogy.

Modern Science did not care about the what of the phenomena, but how they take place, so it needed experiences to obtain evidence. In the 17th century, some schools of religious orders were the main propagandists of the new theories, and they had the support of New Spain's men of science, and tried to move away from decadent scholasticism, combining a weighted study of modern systems.

The sciences that had the greatest interest were mechanics, optics, acoustics, thermometry, electricity, magnetism, meteorology, and their instruments. And above all mineralogy, mining and metallurgy, for its connection with the work to obtain silver from its ores. The Centre that capitalized on these teachings was the Real Seminario de Minería de México, becoming the most important for theoretical and practical teaching. In which some teachers and students participated in the Independence of Mexico in 1821, the most outstanding being Andrés Manuel del Río Fernández.

INTRODUCCIÓN

Los modos con los que la historia y demás ciencias sociales afines han considerado las transacciones culturales, suscitan preguntas: ¿Qué ocurre cuando, a causa de la conquista, el comercio, las migraciones o la globalización, entran en contacto diversas culturas ajenas entre sí? Su respuesta contempla varias posibilidades alternativas: la legislación purista, la segregación marginada y la traducción intencionada que mantienen la separación originaria. Después, la aculturación o asimilación forzada por la necesidad, el préstamo oportunista o emulación interesada y la hibridación o fertilización cruzada. Dentro de esta última está la criollización generadora de una nueva progenie cultural como creación emergente que se emancipa de sus progenitores. [Burke (2000): capítulo 10].

También hay que tener en cuenta que el conocimiento científico influye en la construcción de la cultura, en el amplio sentido que la concebía Hermann von Helmholtz, y cómo esta a su vez, condiciona la creación de teorías y modelos científicos basados en la racionalidad del conocimiento objetivo. Asimismo, la ciencia está entrelazada plenamente con su contexto social, y con herramientas para resolver sus problemas.

La historia prueba que el pensamiento y la ciencia fluyen en las encrucijadas de poblaciones diversas, en las rutas de viajes, encuentros e intercambios. En un marco general vemos que la Ciencia moderna surge después de aceptar la sociedad del *Cinquecento* la necesidad de una descripción de la naturaleza en sí misma, y antes de la popularización del ideal de utilidad general que consagraría la Ilustración. Al degradado escolasticismo le sigue un Naturalismo gnóstico, y a ambos se le contraponen un Mecanicismo para el que el mundo, como entidad en sí, se presentaba como un gigantesco mecanismo regido por leyes cuantitativas susceptibles de ser formuladas matemáticamente. Quien domina el lenguaje, domina la realidad.

ALGUNAS CIENCIAS EN LA NUEVA ESPAÑA

Los españoles encontraron en la Nueva España una cultura autóctona que impregnaba sus costumbres y modos de vida, verbigracia, el *Códice maya* escrito en papel vegetal amate (denominado amatl en náhuatl), es portador de uno de los sistemas de escritura más sorprendente de Mesoamérica que data entre 1021 y 1152 d. C., en la que emplearon glifos para registrar el Calendario de Venus y cultos rituales de esa cultura.

Cuando Antonio de Nebrija dijo en agosto de 1492 que la lengua fue compañera del imperio, es erróneo pensar que se refería al que España comenzaba a erigir, pues era dos meses antes del 12 de octubre, y aludía al que Roma creó extendiendo el latín por el medio mundo entonces conocido. La lengua castellana no fue sustento del imperio español, al contrario, Carlos V promovió desde 1522 el estudio y reconocimiento oficial de las lenguas amerindias, entre ellas el náhuatl. El hecho es que desde los primeros años del siglo XVI algunos misioneros humanistas comenzaron a elaborar gramáticas de las lenguas nativas. El misionero franciscano Andrés de Olmos (1485-1571) conocido por su labor como filólogo del náhuatl, tepehuán, huasteco y tolonaco escribió en 1547 la primera gramática en lengua náhuatl en la que afirmaba «No seré reprehensible si en todo no siguiere el Arte de Antonio», se refería a Antonio de Nebrija, es decir, al castellano. En 1573 Felipe II promulgó una disposición para sus nuevos súbditos en la que afirma que «no parece conveniente apremiarlos a que dejen su lengua natural, más bien se pondrán maestros para los que voluntariamente quisieren aprender la castellana». En 1583 dispuso la creación de Cátedras universitaria en Lima y México de «lenguas generales» como el quechua, el náhuatl y el muisca. Ciertamente que en fecha tan tardía como 1782 Carlos III quiso imponer el castellano, pero ya era demasiado tarde [Villanueva (2022): 12].

La llegada de la ciencia y la técnica europea a los virreinos americanos dependientes de la corona hispánica, supuso un aumento en su acervo cultural, que llevó a la fundación de universidades: en Santo Domingo, 28 noviembre de 1538, en Lima, 12 de mayo de 1551 y en México, 21 de octubre de 1551. A finales del siglo XVIII había 26 universidades en los virreinos.

La historiografía ha prestado especial atención a la Mineralogía por su vinculación con la minería y metalurgia, de ahí que en la ciudad de México se crearan centros de enseñanza especializados en esas materias, que eran las áreas científico-técnica más importantes junto a la Botánica, por la relación de esta con alimentos, medicina y plantas ornamentales. Algunas instituciones recogerían el testigo de la innovación producida en el siglo XVII en los distintos países europeos, lo que propició nuevos modos de acercamiento a la Naturaleza. El desarrollo de las Ciencias en la Nueva España entre los siglos XVI y XVIII siguió una trayectoria parecida a la que tuvo en los países europeos, para desprenderse paulatinamente de las ideas aristotélica y medieval, cuyas teorías prevalecían a principios del siglo XVI en mecánica, óptica, acústica y meteorología.

Durante casi tres centurias en el virreinato novohispano la Física solo era una parte de la Filosofía Natural apegada a la escolástica. Hasta el siglo XVIII se siguieron estudiando los textos de Aristóteles, particularmente *Física*, *Meteorología*, el tratado *De generatione et corruptione* y *De caelo*. Aunque durante el siglo XVII lograron difundir-

se los escritos de Galileo que revolucionaban la dinámica, los de Gilbert que proponían una novedosa explicación de los fenómenos magnéticos y eléctricos y las obras de Mersenne y Descartes que sancionaban las teorías mecanicistas.

Los modernos conocimientos de los fenómenos físicos se encontraban enfrentados a la filosofía aristotélica, como iremos viendo. La Física era en muchos casos una disciplina previa al estudio de la Medicina, y el italiano, hijo de españoles, Juan Alonso Borelli (1608-1679), físico y matemático, realizó notables aportaciones a esta, como miembro prominente de la escuela iatromecánica, y fue uno de los pioneros en estudiar los fenómenos biológicos aplicándoles las leyes de la mecánica, por tanto, reduciéndolos a fenómenos de movimiento local. La difusión de su obra en España y en la América virreinal fue notable y citado por Diego Mateo Zapata en *Crisis médica sobre el antimonio* (1701), Tomás Vicente Tosca en *Compendium Philosophicum* (1721), Antonio José Rodríguez, religioso cisterciense, en *Palestra crítico-médica* (1734), entre otros.

En el siglo XVIII se planteaba un cambio radical en los fundamentos conceptuales de las Ciencias, mientras que la Ciencia Antigua, y la Filosofía Natural se preguntaban por el protagonista de los fenómenos y por la esencia que se oculta tras ellos. Por el contrario, la Ciencia Moderna investigaba las variaciones. No importaba el *qué* de los fenómenos, sino el *cómo* tienen lugar, es lo que expresaba Andrés Piquer y Arrufat (1711-1772), médico y filósofo, en *Física moderna racional y experimental* (1745): «*Importa poco ignorar la verdadera esencia del cuerpo, como que se sepan sus más importantes afecciones*». Y José Climent (1706-1781), catedrático de Filosofía Tomista en la Universidad de Valencia, (1726-1737), aceptaba la necesidad de experiencias para conseguir evidencias y defendía que «*sólo por ser novedad no debe reprobarse, porque hemos de decir que los antiguos no tuvieron la autoridad de fijar una época después de la cual se hicieron imposibles los descubrimientos*». Por otra parte, los conocimientos matemáticos, astronómicos con su sistema de cómputo cronológico y de calendario fueron una de las grandes contribuciones al desarrollo en particular de las Ciencias Exactas y en general de la Ciencia Moderna, la cual era considerada *consecuencia normal y necesaria del Descubrimiento de América, tanto en cuanto que la aparición de un continente insospechado no significó sólo la adición de una masa terráquea a la Tierra conocida, sino también la concepción real de un mundo nuevo* [Sanz López, 1977: 295-328].

La Ciencia Moderna no se engendró y consolidó por una inspiración individual, sino que fue consecuencia normal y necesaria de la situación creada por los acontecimientos geográficos ultramarinos que se desarrollaron casi coincidentes con el tiempo en el que Nicolás Copérnico al conocer esos descubrimientos, emitió la idea del heliocentrismo, que tuvo la fuerza suficiente para sustituir el concepto anterior que se tenía del Universo, y facilitar el cambio de la organización política, social, económica y religiosa. Copérnico se inspiró en los documentos cartográficos procedentes del descubrimiento de América y de la primera vuelta al mundo, que originaron las tablas de posiciones geográficas, para concluir que si la Tierra era una esfera, como aparecía representada en los nuevos mapas del mundo, tenía necesariamente que girar [Laguada Trías, (1990)].

El sistema copernicano fue objeto de controversia entre los partidarios de las ideas ilustradas que defendían su entrada en la enseñanza en los centros educativos americanos, y los seguidores del Antiguo Régimen que se oponían. José Celestino Mutis (1732-1808) defendió el sistema copernicano en la Nueva Granada, y llevó la iniciativa con el apoyo de ilustrados como el novogranadino Francisco Moreno y Escandón (1736-1792) frente a la oposición de las órdenes religiosas y de las élites conservadoras que defendían sus intereses y privilegios en la educación de aquel virreinato, con una concepción de la educación desfasada y anticuada. Han sido interesantes las investigaciones acerca de la recepción y las enseñanzas de las teorías de Copérnico y de Newton en la Nueva Granada y en la Audiencia de Caracas, a la vez que se estudiaba la situación social, cultural y política en la segunda mitad del siglo XVIII, decenas de años antes que comenzaran los movimientos independentistas [Negrín Fajardo y Soto Arango. (1984), 53-75. Mutis, (1983), Arboleda y Soto Arango, (1991), 5-34].

En el siglo XVII las escuelas jesuíticas en la Nueva España fueron las principales propagandistas de las nuevas teorías, difundidas con reservas y omisiones, contaron con el apoyo de los hombres de ciencia novohispanos partidarios de los estudios modernos de ciencias, como el mercedario mexicano fray Diego Rodríguez (1569-1668), uno de los personajes más importantes en el México de la segunda mitad de dicho siglo. Fundador de la primera cátedra en América de Matemáticas, Astronomía y Astrología en 1637, en la Facultad de Medicina de la Real y Pontificia Universidad de México, incluyendo estudios de Astronomía, Trigonometría, Geometría, Álgebra y Cosmografía, con las principales ideas de autores que en Europa aún no eran aceptados.

A este nombre hay que unir el del presbítero poblano Alejandro Fabián (1624-?), que ingresó en la Compañía de Jesús, de la que más tarde se separó. Aunque su interés científico se acercaba al principio más a la *magia naturalis* que a las experiencias científicas, contribuyó al tránsito desde el hermetismo a la Ciencia Moderna. Colaboró con Atanasius Kircher (1601 o 1602-1680) en las experiencias magnéticas, fue uno de los principales propagandistas de su obra, y envió un ejemplar de *Magneticum* de Kircher al mexicano Carlos Sigüenza y Góngora (1645-1700). Fabián publicó sus trabajos en *Tautología estática universal Dialogística, cosmimétrica, hagiographica, physiologica, philosophica, geographica, hidrographica, topothésica, química, subterránea, astronómica, aritmética, óptica, machimica, musiarmónica, mística*, obra de pretensiones enciclopédicas, de la que dijo que «*Comprende todas las dichas ciencias y artes con otro número inmenso de cosas raras, curiosas, nuevas, peregrinas e inauditas, hasta ahora no conocidas o, por mejor decir, mal entendidas*». Participó en expediciones científicas y colonizadoras y desarrolló una vasta labor investigadora, reflejada en *Manifiesto filosófico contra los cometas* (1681) y en *Libra astronómica y filosófica* (1690). Es autor también de textos no científicos, como el poemario, *Primavera indiana* (1668) e *Infortunios de Alonso Ramírez* (1690).

Todos los que se dedicaban a las ciencias acudían a las fuentes, por ejemplo, Sigüenza para criticar la tesis aristotélica se apoyó en Galileo, Kepler, Descartes o Gassendi, al margen de las enseñanzas eclécticas de la tradición pedagógica que prevalecía en Nueva España, la cual estaba saturada de conceptos organicistas y escolásticos.

Entrado el siglo XVIII, los autores jesuitas mexicanos intentaron alejarse de la escolástica decadente, conjugando un estudio ponderado de los sistemas modernos. El jesuita veracruzano Agustín Pablo Castro (1728-1790), creía que era necesaria una revaloración de algunas tesis de Aristóteles, pero aceptaba la hipótesis de Honoré Fabri (1608-1688), jesuita, teólogo, matemático y físico francés, que había elaborado una teoría conciliadora de las teorías modernas y el sistema aristotélico en *Physica* (1669), en la que pretendía deducir todos los conocimientos físicos de seis principios peripatéticos, por ejemplo, los concernientes al calor, el ímpetu, y los que postuló Empédocles como principios constitutivos de todas las cosas, cuatro raíces o elementos inalterables y eternos, agua, aire, tierra y fuego. En cambio, cuando suponía que Aristóteles erraba, como en sus tesis acerca del movimiento natural o de la composición de los cielos, lo abandonaba y aceptaba los postulados de la Física moderna. Sus ideas “corpúsculares”, lo acercaban a las teorías de Pierre Gassendi (1592-1655), defensor de la observación y deducción matemática en Astronomía y Física desde la razón [Heilbron (1979): 108-112].

Estas ideas, con ciertas variantes, fueron adoptadas tanto por los jesuitas como por miembros de otras Órdenes religiosas en la primera Ilustración mexicana. Estos autores citan en sus obras a Aristóteles, Santo Tomás, Melchor Cano, Francisco Suárez, Duns Escoto y Ptolomeo, junto a Descartes, Gassendi, Bacon, Newton, Leibniz, Franklin, Kepler, Tycho Brahe, Maupertuis, Copérnico, Galileo, Torricelli, Guericke, Boyle y Nollet, y aceptaron con reservas el “atomismo”, la ley de la gravitación universal, y las experiencias sobre la presión atmosférica. Tal es el caso, por ejemplo, de las obras *Cursus philosophicus* de Francisco Javier Alegre (1729-1788), *Physica particularis* de Francisco Javier Clavijero (1731-1787), *Cursus philosophicus*, de Diego José Abad (1727-1779), y los escritos de Juan Brea, José Rafael Campoy y Salvador Dávila. En menor medida de franciscanos: *Tratado sobre toda la Física de Aristóteles* (1766-1767) de Miguel de Sologuren, o la *Philosophia naturalis* (1743-1744) de Pedro de Orsonoro. Todos insistieron en la necesidad de la observación y de la experiencia, para sacarle a la naturaleza los secretos que guardaba, aunque esta orientación fue sólo una tentativa para abandonar los métodos lógico-deductivos de la escolástica tardía, sustituyéndolos por los de la Ciencia Moderna. La actitud de estos autores entrañaba un compromiso difícil de salvar al estar anclados en la tradición peripatética, lo que influía para que fueran refractarios a los nuevos descubrimientos.

Una actitud diferente percibimos en otros hombres de ciencia contemporáneos del grupo anterior, cuyos estudios los inclinaban a aceptar ciertos postulados vinculados a la Alquimia y opuesta a las tesis peripatéticas. La confrontación se puso de manifiesto en la polémica, al estilo clásico dieciochesco, que a mediados del siglo sostuvieron Teodomiro Díaz de la Vega (1736-1805) y Francisco Reyes del Carmen y en la cual se discutían dos concepciones diferentes y opuestas acerca de la naturaleza de los relámpagos y de los rayos. Reyes del Carmen había escrito en 1756 una *Carta physico meteorológica sobre los ígneos meteoros observados en la atmósfera*, donde decía que los rayos se producían por una inflamación de las partículas; “nitro aéreas”, existentes en la atmósfera, tesis común entre los físicos antes de los trabajos de Franklin. Y Díaz

de la Vega en *Reparos a la Carta physico meteorológica*, acudía a textos aristotélicos para decir que estos fenómenos eran provocados por la incandescencia que sufrían las sustancias “sulfúreas, bituminosas y salinas”, exhaladas por la tierra. La contrarréplica de Reyes del Carmen rebatía la tesis peripatética de su oponente («todavía puede mi juicio estar contra Aristóteles») basándose en la autoridad de los científicos modernos, de los cuales hace el siguiente comentario:

Dice pues Vmd. que Bacon de Verulamio fue el primero que abrió puerta a la filosofía experimental. Mal principio ha tenido el principio de su erudición. Sepa pues Vmd que no Bacon de Verulamio como dice sino Galileo Galilei fue el primero que sacudiendo el yugo peripatético que había corrido hasta promediado el siglo XVI, introdujo en las Escuelas la secta que llaman de los modernos. A este pues célebre philosopho y mathematico siguieron Pedro Gassendo, Descartes, Boyle, el dicho Bacon, el famoso Newton, Volpio y otros muchos héroes de la escuela moderna [Trabulse 2017)].

La polémica entre estos dos autores prefigura en cierta forma la lucha sin cuartel que los científicos mexicanos de la segunda mitad del XVIII emprendieron contra las doctrinas aristotélicas, fundamentados en el vasto cúmulo de datos que la Física experimental de los ciento cincuenta años anteriores ponía a su alcance. En los campos de la Mecánica, la Óptica, la Acústica, la Termometría, la Electricidad, el Magnetismo, la Meteorología y las técnicas instrumentales, los hombres de ciencia novohispanos estaban al tanto de los avances europeos logrados por Boyle, Torricelli, Guericke, Hooke, Newton, Gravesande, Musschenbroeck, Bernouilli, Alembert, Huygens, Grimaldi, Nollet, Franklin, Euler, por no citar sino a algunos de los nombres que vemos aparecer en sus obras. La información científica se difundía con mayor velocidad que en épocas anteriores y la Física proporcionaba un amplio territorio para la exploración tanto teórica como experimental. Aquí los ilustrados criollos de la Nueva España brillaron como agudos expositores de las nuevas teorías y como cáusticos impugnadores de las tesis peripatéticas. Bien pudiera ser que, al no correr entonces riesgos de carácter religioso al tratar estos temas, pudieron ahondar y disertar con mayor libertad, y apelar a demostraciones para mostrar las incongruencias y contradicciones que contenía de la Física de los escolásticos, las cuales eran tan obvias, claras y deslumbrantes que la verdad aparecía con evidencia irrefutable. El credo científico que los alentaba quedó bien definido por José Ignacio Bartolache y Posada (1739–1790) en uno de los números de *Mercurio Volante* al que puso por título *Verdadera idea de la buena física y de su grande utilidad*, donde se lee:

Por buena Física entenderemos una Ciencia que nos da conocimiento de los cuerpos, bastante para explicar la naturaleza de ellos, sus propiedades y los efectos sensibles que resultan de la combinación de unos con otros, y para venir en el de sus causas inmediatas. Cuerpo es todo cuanto hay en el mundo criado, asentado que el Criador, los Ángeles y nuestras almas son espíritus: todo lo que vemos, lo que palpamos, lo que percibimos por algunos de nuestros sentidos

materiales y externos, todo es cuerpo o afección suya, que está en él. Vastísima ciencia por cierto debe ser aquella, que trata de tantos y tan diferentes objetos, cuantos encierra la Naturaleza. Efectivamente sería infinita, si considerase a cada uno en particular; pero se va (digámoslo así) por el atajo, averiguando primero aquellos atributos generales, que convienen a todo cuerpo, y después pasa a examinar los propios de cada especie, al menos de las que de suyo excitan la curiosidad del Físico, para procurarse un particular conocimiento. Así los cuerpos celestes esparcidos por esos espacios inmensos, el que menos, que es nuestra luna, a una enorme distancia de la Tierra, nos arrebatan a su contemplación, y a inquirir las leyes de sus admirables movimientos, su estupenda magnitud, su número, etc. Así mismo entre los meteoros o apariciones sublimes de entre cielo y tierra, el rayo y el arco iris; en lo terrestre superficial ciertos vegetales y producciones raras; en lo subterráneo el imán y otros minerales parecen haber sido expresamente criados para empeñar la industria y sagacidad del Filósofo [Bartolache (1772), nº 2].

José Antonio Alzate Ramírez (1737-1799) abordó con lucidez y erudición temas de Física en artículos publicados en *Gacetas de literatura*, y en diversos opúsculos. Se refería a los fenómenos eléctricos e intentó explicarlos, expuso y valoró la obra de Franklin, y en sus escritos epistolares anotó una carta de este donde disertaba acerca de la evaporación de los líquidos, analizó los efectos de la luz del sol, de los “rayos magnéticos” de Mesmer, y trató acerca de los globos aerostáticos tan de moda entonces. Aparte de esto realizó y publicó sus determinaciones meteorológicas de 1769 en *Observaciones meteorológicas de los últimos nueve meses de el año de mil setecientos sesenta y nueve; hechas en esta ciudad de México*, que incluía datos termométricos, barométricos e higrométricos. Realizó observaciones barométricas en Sierra Nevada, situada en el eje Neovolcánico de ciudad México. Estudió los efectos del rayo y la utilidad del pararrayo, la electricidad atmosférica y el tiempo que transcurre entre el destello de un relámpago y el sonido del trueno, para lo cual anexó una curiosa *Tabla quimológica* elaborada en 1794 por Joaquín Alexo de Meabe, asiduo corresponsal de sus *Gacetas* [Alzate Ramírez, (1788-1795). I, 99, 298, 326. II, 74-79, 366. III, 128. IV, 49-61, 349, 358, 382].

También al astrónomo Antonio de León y Gama (1735-1802) debemos unas valiosas *Observaciones meteorológicas*, 1786, donde registró datos anemométricos, termométricos, higrométricos, pluviométricos y barométricos.

Unos años después el novogranadino Francisco José de Caldas (1768-1816), que probablemente desconocía las determinaciones de Alzate, escribía en *Semanario del Nuevo Reyno de Granada*, el influjo del clima sobre los seres organizados, que no resultaba exacto:

Si la Nueva España fuera tan rica en observaciones barométricas como la Nueva Granada, ahora tendríamos la complacencia de comparar las alturas de Oajaca, Tlascalá y de todos los puntos de esa parte de la América con nuestros

países, y tal vez deduciríamos consecuencias interesantes. Hasta hoy ignoramos la altura del barómetro en la capital del imperio de Montezuma, a pesar de haber estado allí Alzate, Doz, Medina y Chappe. Esperamos que el infatigable Humboldt disipe estas dudas y nos fije sobre la altura de Méjico y demás puntos de la Nueva España. La Nueva Granada hace ventajas en este punto, no sólo a todos los pueblos de América, sino también en las naciones más ilustradas de Europa. La Inglaterra, la Francia no pueden oponer un número tan crecido de observaciones barométricas como nosotros. Reunidas las de Godin, Bouger, la Condamine, Jorge Juan, Ulloa, Mutis, Humboldt, Restrepo, Wiesner, Delhuyar y las que yo he verificado forman un cuerpo inmenso y unas riquezas preciosas para los físicos [Caldas, de, (1849): 530-531, nota 2].

El debatido problema acerca de la naturaleza de los rayos, los relámpagos y la electricidad atmosférica en general preocupó a los científicos ilustrados, que introducían una nueva concepción puramente física para explicarlos. Ello originó escritos del presbítero poblano Juan Antonio de Revilla y Barrientos, como *Remedio natural para precaverse de los rayos y sus funestos efectos* y en 1753 publicó en Puebla *Astronomía Americana septentrional regulada al meridiano de la Puebla, ciudad de los Ángeles, para ese año*. También Juan María Wenceslao Barquera (1779-1840) publicó en *Semanario Económico de Noticias Curiosas y Eruditas*, varios artículos sobre las propiedades de la atmósfera, y la física de la luz, de febrero a junio de 1809.

El interés de los ilustrados por los fenómenos físicos y la comprobación experimental de las nuevas teorías se manifestaba en los textos filosóficos y científicos más importantes de la ciencia mexicana del siglo XVIII. Por ejemplo, Juan Benito Díaz de Gamarra y Dávalos (1745-1783), religioso oratoriano, figura relevante dentro de este grupo de ilustrados criollos del último tercio del siglo, estaba mejor informado que la mayoría de sus contemporáneos que trabajaban en esos asuntos, como demostró en *Elementa recentioris philosophiae* (1774), libro de gran alcance y envergadura, en el que incluyó un aparato matemático, antes de que fueran abordados los temas de Física, Química y Astronomía por el matemático novohispano Agustín de la Rotea (?-1788), y expuso las leyes newtonianas del movimiento, las leyes de la gravitación y los problemas de la dinámica de los cuerpos simples. Trató acerca de la hidrostática y de la electricidad acorde con las teorías de Franklin y Nollet, aunque no se adhirió a ellas; también de los fenómenos caloríficos, acústicos, ópticos, magnéticos y geológicos. En sus escritos cita a Bacon, Boyle, Boerhaave, Descartes, Du Fay, Fahrenheit, Franklin, Gassendi, Hartsoeker, Huygens, Kircher, Leibniz, Lemery, Leeuwenhoek, Malebranche, Mariotte, Mersenne, Musschembroek, Newton, Nollet, Paulian, Perrault, Pluche, Reaumur, Regnault, Rohault, S'Gravesande, Sigaud de la Fond, Stevin, Tosca, Varignon, Verney, Wallis y Wolf.

En esta obra Gamarra y Dávalos detallaba los instrumentos que estaban en un Gabinete de Física en México en la segunda mitad del siglo XVIII: termómetros, barómetros, anemómetros, higrómetros, bombas de vacío, diferentes tipos de balanzas, eolipilas, poleas, microscopios, máquinas eléctricas, esferas armilares y telescopios. Al parecer,

Gamarra realizaba sus experimentos sobre la electricidad en un generador por frotación del tipo de los contruidos por Charles du Fay hacia 1733. Los científicos ilustrados que disponían de este instrumental en sus gabinetes, se preocuparon de aumentar su precisión, describir sus características y mejorarlos [Knowles Middleton (1969: 3-132. Daumas (1953: 78)].

Gamarra trató en *Academias filosóficas*, 1773 y 1774 los temas de la Física del momento, verbigracia, leyes del movimiento, fenómenos eléctricos, atmosféricos y sísmicos, leyes de la óptica y, detallaba un plan de estudios de Física, en el que se mostraba partidario de la experiencia como única vía para conocer las realidades del mundo físico. También expuso los principios teóricos de la mecánica y la manera de aplicarlos en diversas máquinas, lo que se consideró un Tratado de Física aplicada.

Este afán de llevar al terreno de las realizaciones tangibles los logros alcanzados en el laboratorio o gabinete de Física, se percibió también en varios de sus contemporáneos, como el filo matemático Felipe de Zúñiga y Ontiveros (1716-1793), que en su deseo de beneficiar a los campesinos inventó una bomba de riego por aspersión, que consistía básicamente en un aspirador en forma de fuelle movido por una palanca para elevarlo, y el descenso se efectuaba por el simple peso de dos piedras. Expuso este artificio técnico en un breve opúsculo ilustrado, que publicó en 1770 con el título de *Bomba hidráulica, instrumento fácil que para elevar aguas ha discurrido y da a luz a beneficio de los labradores don Phelipe de Zúñiga y Ontiveros*. [Alzate:42-43. 64. Junco de Meyer (1973): 63-144,157-173. Trabulse: 248-249].

Alzate [II, pp. 65-74] critica duramente el peripatetismo y la Física de los filósofos herméticos, a la que califica de *Física vulgar*, porque «sólo explica la Naturaleza con abstracciones metafísicas, con cualidades elementales y ocultas, con antipatías y simpatías» mientras que la Nueva Física lo hace «con el buen método, con las observaciones, con las experiencias, con los nuevos instrumentos» Su idea de la Nueva Física, es la siguiente:

La física trata del cuerpo en cuanto es natural, o sea en cuanto está sujeto a las afecciones sensibles y es susceptible de todas las mutaciones que contemplamos que suceden en el mundo, y de aquí podemos distinguir el cuerpo natural del matemático y la misma física de la geometría, aunque tengan como objeto el mismo cuerpo. Los objetos de la física son el cuerpo, el espacio y el movimiento. Cualquier cosa que vemos con los ojos, tocamos con la mano y que resiste a la presión lo llamamos cuerpo; a la extensión del Universo donde se hallan dichos cuerpos y donde libremente se mueven la llamamos espacio; a la traslación de estos cuerpos de un sitio a otro del espacio lo llamamos movimiento. Todos los sitios, movimientos, mutaciones y acciones de los cuerpos que observamos por medio de los sentidos se llaman fenómenos. Todos los cuerpos se mueven según ciertas reglas y leyes. La ley natural es aquella norma según la cual Dios quiso que determinada clase de movimientos se llevaran a cabo siempre de la misma forma... Con el auxilio de dichas leyes, comprendemos qué es lo que sucede en forma natural y qué es lo que sucede en forma milagrosa, ya que los fenómenos

naturales son aquellos que se observan siempre de igual manera, siendo los milagrosos los que suceden contrariando dichas leyes [Trabulse, (1973): 235-249].

El arquitecto Francisco Antonio Guerrero y Torres (1727-1792), sugirió algunas variantes en una *Máquina fácil para apagar cualquiera incendio, sacada del tomo I de la Real Academia de Ciencias de París a fox. 259 núm. 38 acomodada con materiales de esta ciudad de México*. En 1774 con motivo de un incendio en la plaza del Volador, el virrey Bucareli solicitó se le enviasen «seis máquinas o bombas hidráulicas», ya que conocía su eficacia para apagarlos y la carencia que había de equipo y técnicas para controlarlos, también ordenó expedir un *Reglamento* para apagar y precaver incendios [González Polo (1971): 151-159]. Asimismo, dio noticia en repetidas ocasiones de diversas máquinas y aparatos de utilidad agrícola, industrial y doméstica. Por ejemplo, inventó una máquina hidráulica para aumentar el suministro de agua en la ciudad de México, ideó un aparato de molienda útil en la minería y en la producción de azúcar, describió, ilustró y comentó el «Barreno inglés», especie de taladro que lograba penetrar a cierta profundidad dentro de un terreno, lo que permitía conocer sus calidades y el tipo de materiales que lo formaban. Demostró que para la construcción de aparatos aerostáticos en la ciudad de México, había que tener en cuenta su altitud y la consecuente presión atmosférica, lo que obligaba a compensar la presión interna de los globos [Alzate: I, 76, II, 15, III, 422, IV, 71, 300].

Asimismo, Wenceslao Barquera en el *Semanario Económico de Noticias Curiosas y Eruditas* escribió varios artículos acerca de máquinas para templar el acero, elaborar pan, obtener colorantes vegetales, fabricar y purificar jabón, entre otras utilidades. Muchas de estas máquinas se idearon fundamentadas en conceptos elementales de Física que ya eran de curso corriente gracias a la traducción y difusión de algunos tratados europeos, como el de Jean Antoine Nollet (1700-1770), *Lecciones de Física Experimental*, en el que explica su invento de un Electroscopio con láminas de oro; y Joseph Aignan Sigaud de la Fond (1730-1810), *Compendio de Física Experimental, Descripción y uso de un Gabinte de Física*, además de las *Memorias* de Sociedades Científicas o *Semanarios* eruditos.

Este desenvolvimiento de la Física, pura y aplicada, muestra que las tareas experimentales eran imprescindibles en la labor de divulgación y comprensión de las nuevas teorías. Los instrumentos inventados a lo largo del siglo XVII llegaron en fecha temprana a la Nueva España, aunque su difusión fue lenta. Hombres de ciencia como los citados utilizaban en sus determinaciones astronómicas *longomira* (telescopio), pero también continuaban utilizando los tradicionales astrolabios o cuadrantes.

José Sáenz de Escobar (1655-1722), abogado de las Reales Audiencias de Guadalajara y México, experto en agrimensura y matemático, publicó en 1705, *Geometría práctica y mecánica dividida en tres tratados: 1º Medidas de tierra, 2º Medidas de minas, 3º Medidas de aguas, para instrucción de Alcaldes Maiores, Corregidores, Receptores y Medidores de Tierras de esta Nueva España, dedicado al capitán D. Francisco Pérez Navas, Caballero de la Orden de Santiago*, en el que detallaba los instrumentos clásicos de la agrimensura y la topografía, como agujón, regla, cartabón, semicírculos

graduados, regla dióptrica y compás de proporción, todos ellos tomados de las obras de Caramuel, Tosca, Schott o Kircher. Este último inventó un *instrumento magnético*, especie de cuadrante con brújula, bastante preciso, pero usando técnicas tradicionales de medición, y un *Manual sobre Geometría aplicada para personas no cualificadas en la materia, usada en mineralogía y geoquímica, muy útil en minería*.

Como hemos reseñado, en la primera mitad del siglo XVIII van proliferando en la Nueva España, barómetro, termómetro, bomba neumática, anemómetro, higrómetro y microscopio, utilizados también para las clases prácticas en instituciones educativas, los cuales eran descritos las más de las veces en obras científico-técnicas de los jesuitas Schott, Kircher, Dechales, Zaragoza o Lana-Terzi [Heilbron: 103].

Bartolache consagró dos números de *Mercurio Volante* al estudio del termómetro y del barómetro, de los cuales escribió una breve historia y analizó sus fundamentos teóricos, sus posibles usos y los errores en que se puede incurrir al construirlos. Como conocía el calor específico, la densidad en sólidos, líquidos y gases y sus relaciones con la temperatura, expuso consideraciones teóricas en 1772 del termómetro basadas en las experiencias termométricas de Fahrenheit, Amontons, Boerhaave, y del barómetro fundamentadas en las barométricas de Torricelli y Pascal.

Del termómetro: *No haré más que dar una buena idea de la causa por qué indica el Termómetro el calor y el frío. Para lo cual asiento como principio, que todo cuerpo hasta ahora conocido (exceptuando solamente una especie de betún mineral que llaman petróleo) se dilata y ocupa mayor lugar cuando se le calienta, y al contrario se encoge, se condensa y ocupa menor lugar, según se le disipa aquel calor. Una barra de fierro hecha ascua, no cabe ya por el mismo anillo en que fácilmente entraba estando fría y volverá a entrar siempre que lo esté. Con que el azogue o el espíritu de vino que hay dentro de la ampolla del Termómetro, cuando se les calentare o enfriare, debiendo ellos ocupar entonces mayor lugar en el primer caso y menor en el segundo: indefectiblemente subirán o bajarán a proporción física por el cuello y esto se conocerá en la escala graduada [Bartolache (1772): n° 3].*

Del barómetro: *El aire atmosférico es un cuerpo grave, pero fluido, que todo lo inunda y comprime en cualquier sentido, esto es, que no sólo hace la opresión de arriba para abajo como un fardo o cuerpo de los que llaman sólidos; sino igualmente por los lados y, a lo que parece, también de abajo para arriba. Éste es hoy un dogma de Física, que nadie del mundo se atreverá a negar. Y supuesto eso, diremos que una columna de este aire, tan gruesa como la cavidad del Tubo de Torricelli (sea la que fuere) y tan alta como la distancia que hay desde la superficie del azogue derramado en el vaso hasta el fin de nuestra atmósfera (que no se sabe, ni aun quizá puede saberse adonde llega); esta tal columna digo, que pesa contra la de azogue y la oprime, forzándola a mantenerse suspensa y equilibrándose entrambas, como si se tratase, por ejemplo, de una balanza en cuyos platos estuviese cargado de una parte el azogue del tubo y de otra la co-*

lumna de aire, y el fiel siempre sin hacer ojo, perfectamente en cruz. De donde se infiere, que creciendo el peso del aire, o por ser a veces mayor, o por ser más densa aquella columna, que suponemos estar gravitando de continuo contra el azogue, deberá entonces subir éste por el tubo algo más; y al contrario debe bajar, siempre que la columna de aire, su antagonista, perdiere algo de su densidad o de su longitud. Estas verdades bien meditadas, dan mucho de sí, para que los ingeniosos infieran y los demás entiendan [Bartolache (1772): nº 4].

Alzate, interesado en estos temas, estudió el higrómetro y el barómetro y sus aplicaciones prácticas. Redactó una tabla de alturas y sus equivalencias barométricas, que resultaron muy útiles para conocer la altura de las montañas. Y a León y Gama debemos una valiosa aplicación práctica de este principio que le permitió fijar en 1786 la altitud de la ciudad de México [Alzate: I. 107, II,192, 194-196, IV. p. 419].

El desarrollo de la Química en México en el período virreinal estuvo vinculado a sus aspectos prácticos y teóricos, con mayor incidencia en metalurgia, farmacia y diversas industrias como la del jabón, la pólvora, el vidrio y la elaboración y conservación de alimentos. Ciertos aspectos de la metalurgia y de la farmacoterapia, así como el análisis de aguas termales y medicinales, e incluso los fenómenos meteorológicos, habían sido estudiados hasta entonces desde el punto de vista de la alquimia, que había llegado a la Nueva España en época temprana, manifestándose en los primeros textos médicos novohispanos, en los que los fundamentos teóricos que manejaban eran derivados de los citados cuatro elementos de Empédocles en el siglo IV a. C., más los tres de Paracelso en el siglo XVI -mercurio, azufre y sal-. La búsqueda de los nexos entre dichos elementos, los signos del Zodíaco, los astros, los temperamentos, los humores y las diferentes partes del cuerpo, originó en los siglos XVI y XVII una literatura médico-alquímica abundante en los países europeos, y cuyo ejemplo más sobresaliente en la Nueva España fue sin duda la *Verdadera medicina, cirugía y astrología* de Juan de Barrios escrita en 1562, y publicada con licencia y privilegio en México por Fernando Balli en 1607.

También en las Crónicas de esos siglos a menudo revelaban este influjo al describir las características, propiedades, efectos e influencias, al estilo de lapidarios medievales, de minerales, metales y piedras preciosas de la Nueva España.

En la primera mitad del siglo XVIII se abandonarán los conceptos relacionados con la metalurgia y sus procesos químicos, en favor del estudio sistemático y moderno de las cualidades y propiedades de las sustancias, de las afinidades entre ellas y de sus características externas. Sin embargo, los estudios teóricos de Química en este período son muy pocos. Solo las disertaciones de los jesuitas y miembros de otras Órdenes acerca de la Filosofía Natural y, sobre todo, en las obras de metalurgia se exponían los fundamentos teóricos del proceso de amalgamación según la sistemática de la Química Moderna. Un ejemplo de esto es el denso y prolijo tratado de Química, Física, Geología y Metalurgia, *Metalogía o Physica de los metales. En que se procuran descubrir sus principios y afecciones, dirigidas al mejor logro de la minería de las Américas* (obra que permanece manuscrita), en la que Francisco Xavier Alexo de Orrio (1715-1764) se basa en las obras más avanzadas de la época y en sus propias experiencias.

A finales del siglo XVIII la revolución química llegará a la Nueva España iniciando lo que constituye ahora una de las más ricas tradiciones científicas mexicanas, con propuestas de nuevas interpretaciones apoyadas en los avances logrados por la Química. Por ejemplo, los estudios hidrológicos de las fuentes de aguas termales y medicinales fueron realizados según las nuevas teorías de la naturaleza de las combinaciones químicas, de los diversos compuestos derivados de las combinaciones de álcalis y ácidos, de los tipos de sales existentes y su comportamiento en disolución acuosa. En *Virtudes de las aguas del Peñol reconocidas y examinadas de orden de la Real Audiencia por el Real Tribunal del Protho-Medicato, cuyo dictamen se publica para que los que padecen las enfermedades, que con estas Aguas pueden curarse, gozen de su beneficio, México, 1761*, hay dos interesantes escritos: *Informe sobre los baños termales y thermas del Peñol*, del Dr. Nicolás Joseph de Torre (págs. 1-7), y *Sobre la calidad, virtudes y utilidad de Aguas del Peñol*, del Dr. Joseph Dumont (págs. 7-21). En ellos hay un pormenorizado análisis químico que partía de una clasificación específica de los diversos tipos de aguas termales, según que tuvieran disueltas sal, nitro, alumbre o vitriolo, lo que producía, según él, aguas aciduladas (ácidas), aluminosas (alcalinas), hidrosulfurosas y sulfurosas.

Alzate aunque tenía un buen concepto de la utilidad práctica de la Química, escribió algunos artículos en *Gacetas Literarias* con lenguaje iatroquímico donde describía las virtudes medicinales del sodio, y de otras sustancias, y sus dudas acerca de los sistemas de clasificación de los minerales. Se mostraba partidario de las teorías de Joham Joachim Becher (1635-1682), físico y alquimista, padre de la teoría del flogisto, que lo concibió como principio de inflamabilidad, y de George Ernst Stahl (1660-1734), médico y químico, que postuló la teoría del flogisto como explicación a la combustión, al recomendar el uso de carbón como agente reductor, al tratar minerales argentíferos, y escribe *Prepárense los metales de plata en el método que se usa para convertir el fierro en acero, surtiéndolo el flogístico por medio del carbón reducido a polvo, y creo se conseguirá mucha más plata*. Esto explica por qué a pesar de haber admitido la obra Química de Lavoisier, guardó ciertas reservas respecto a la validez de su sistema, y permaneció anclado en la teoría del flogisto y en la anárquica nomenclatura química anterior. Era una excepción, pues la mayoría de los científicos novohispanos conocían las reacciones químicas con sales, ácidos o bases y habían eliminado la teoría del flogisto al tratar de la calcinación de los metales.

La inauguración del REAL SEMINARIO DE MINERÍA EN CIUDAD MÉXICO, a mediados de 1792, trajo aparejada la instalación de laboratorios de Física y Química, con máquinas eléctricas, balanzas hidrostáticas, eolipilas, bombas de aspiración, máquinas neumáticas, telescopios, microscopios y un modelo a escala reducida de la «bomba de fuego», que incluía una pequeña caldera y los implementos necesarios para trabajar. Además, tenían buena serie de digestores, vasos comunicantes, pirómetros, anemómetros, eudiómetros, higrómetros, termómetros, barómetros, aparatos de sifón, barras magnéticas, lentes ópticos cóncavos y convexos, espejos ustorios, prismas ópticos, electrómetros, un balón de Priestley para convertir el aire en ácido, un condensador de Volta, y un aparato químico-pneumático grande de Watt, por solo mencionar parte del equipo. Humboldt se admiró de la abundancia y calidad de los instrumentos y no

sólo de los que habían sido traídos de Europa, sino también de los que habían sido contruidos en México. Por ejemplo, el mexicano José María Bustamente (1786-1829) construyó un barómetro y un teodolito¹ siguiendo las pautas marcadas por Francisco Salvá y Campillo (1751-1828), médico, físico y meteorólogo, cuando en Barcelona dirigió la construcción de termómetros fijos y portátiles con graduaciones de Fahrenheit y Reaumur, y un barómetro transportable, para medir la altura de las montañas elevadas. Y José Francisco Caldas (1768-1816) ideó el procedimiento hipsométrico². Recordemos que la mayoría de los instrumentos científicos utilizados en la Nueva España, en los siglos XVII y XVIII, fueron contruidos por Rodríguez, Sigüenza, Velázquez de León, Bartolache y Alzate, entre otros [Sánchez Flores, (1980): 212-233].

La difusión de la Química moderna se llevó cabo en esta institución, por las enseñanzas de Fausto Delhuyar (1755-1833), en 1798 los estudiantes disponían de la versión española del libro de Lavoisier *Tratado elemental de Química* (la primera edición fue publicada en París, en 1789), siendo en México donde llega antes que en España la traducción al español. Un años después Luis Fernando Lindner (1763-1805) explicaba las teorías de Törbem Olof Bergman (1735-1784) acerca de las afinidades electivas y el efecto del calor en las mismas según el sistema de Lavoisier, y la posición destacada del oxígeno en la Tabla periódica de los elementos químicos por su capacidad de combinación para formar ácidos, bases y sales. Del alto nivel de los cursos de Química impartidos da cuenta Alexander von Humboldt en *Ensayo político sobre el reino de la Nueva España* (1822), en el que decía que era el primer laboratorio mexicano de Química moderna, y donde había aparatos para obtener hidrógeno y oxígeno a partir de agua, balones de Priestley, eudiómetros, entre los que había uno eléctrico de Volta, balanzas, alambiques, crisoles, morteros, evaporadores, etc. Allí se realizaron las primeras marchas analíticas modernas de análisis cualitativo y cuantitativo. Algunos discípulos de Lindner continuaron las enseñanzas de Química moderna, como Manuel Cotero [Trabulse (2017)].

En el plantel de profesores del Real Seminario de Minería, tuvo un lugar prominente Andrés Manuel del Río Fernández (Madrid, 1764-México, 1849) madrileño de nacimiento y mexicano de corazón y convicción, como lo demuestra una conversación que mantuvo con Ignacia Gandiaga, esposa de Fausto Delhuyar, cuando al regresar de España ésta le preguntó: *¿A dónde se dirige usted, del Río? ¿No sabe que México se ha hecho independiente?* y responde, *Sí señora lo sé, pero vuelvo a mi patria*. Del Río es una muestra de cómo el racionalismo en el pensamiento del hombre de principio del siglo XIX, no fue exclusivo de Europa, sino que trascendió a América, en este caso a la Nueva España, con lo que se comprueba, una vez más, el intercambio de ideas y prácticas entre ambos lados del Atlántico, y que lo americano no ha estado nunca ausente del quehacer de los españoles y de los europeos en general.

1. Teodolito: instrumento de precisión que se compone de un círculo horizontal y un semicírculo vertical, ambos graduados y provistos de anteojos, para medir ángulos en sus planos respectivos.

2. Hipsómetro: aparato para medir la altura sobre el nivel del mar basándose en el punto de ebullición de los líquidos.

Del Río era el primer Catedrático de Mineralogía, y en los primeros años tuvo que acudir con frecuencia al Tribunal del Santo Oficio para que le autorizara obtener libros franceses y alemanes, cuando terminó felizmente los trámites, dijo: *Por fortuna, se acabó el tiempo de buscar con vidrios de aumento las herejías* [Arnáiz y Freg (1970): 705]. La enseñanza de los rudimentos de la Mineralogía comprendía, entre otros temas, la ordenación de las muestras de minerales y rocas que el Seminario poseía, para lo que se seguía la nomenclatura externa, es decir el sistema descriptivo de Werner, hasta que en 1804 del Río consiguió las *Tablas Mineralógicas* de Karsten en la que se establecían las bases de una mineralogía geográfica, que describía numerosos minerales por localidades.

Como no había textos en español del Río recurrió a los apuntes que conservaba de los cursos que siguió en Bergakademie Freiberg, a los que añadió observaciones posteriores, todo ello constituyó el núcleo de la primera parte de su libro *Elementos de Oricognosia*, publicado en 1795. En sucesivas ediciones ampliadas, como la impresa en Filadelfia en 1832, del Río incorporó la nueva nomenclatura química, el sistema de clasificación de elementos y el concepto de oxidación por oxígeno de Lavoisier. Otra de las aportaciones del grupo de químicos en torno a del Río, fue eliminar las teorías alquímicas en la explicación del proceso de amalgamación de minerales argentíferos, para hacerlo con ideas de la Química moderna.

Del Río es un brillante exponente del mestizaje entre ciencia y humanidades, trazó un puente entre las culturas española y mexicana, y enlazó la tarea como científico, descubriendo el vanadio en el mineral plomo pardo de la mina de Zimapán, con la de político cuando es enviado a las Cortes españolas en Madrid para defender la independencia de México, donde tuvo intervenciones muy elogiadas en las Sesiones que participó. Del Río aunó en su personalidad lo utópico frente a lo jurídico, y unió su nombre al de algunos insurgentes entre los que encontraban alumnos suyos egresados del Real Seminario de Minería, Casimiro Chovell, José Mariano Jiménez, Rafael Dávalos, Ramón Fabié, Isidro Vicente Valencia, Manuel Cotero, entre otros [Castillo Martos, (2021)].

Había otros temas, como la Cronometría teórica y práctica cuyos conocimientos ayudaban a la resolución del problema náutico de la determinación de la longitud en alta mar, en ella sobresale Diego de Guadalaxara Tello (1732-1786), astrónomo, maestro de matemáticas, experto en obras de ingeniería de minas y del desagüe del valle de México y artífice relojero, publicó *Advertencias y reflexiones varias conducentes al buen uso de los relojes grandes y pequeños, y su regulación*, editado en la ciudad de México en la imprenta de Felipe de Zúñiga y Ontiveros en 1777, considerado uno de los textos científicos y técnicos más importantes del siglo XVIII novohispano.

Diego de Guadalaxara inició su obra en los siguientes términos:

No se extrañe que en la continuación de mis escritos llame Arte liberal de Reloxería porque vivo en la creencia, que si en el tiempo que se distinguieron de las Mecánicas las siete que gozan de este glorioso título, hubiera habido los conocimientos de la Reloxería que hay al presente, lograría el verse colocada en algún lugar ventajoso entre ellas. Supuesto pues que se llama Arte Liberal

aquella que participan más del espíritu que del trabajo de las manos, y cuya excelencia supone más conocimiento que operación, ninguna de todas las Artes necesita del espíritu de invención para su progreso como la Reloxería, ni otra que tire gages de otras facultades más frecuentes; porque se necesita la ciencia de los números para tener en talo tal pieza cierta revolución o período. La Analogía, para establecer entre las partes de la máquina proporciones exactas. La Analítica, para resolver distintos problemas que ocurren. La Geometría, para la exactitud de las medidas. La Mecánica o Maquinaria, para aplicar conveniente y económicamente la Potencia motriz, para que resulte conforme y justa la potencia reglante y bajo de las reglas de la Mecánica y sus inventos, disponer una Máquina oportuna para el fin que se desea. No quedando desnuda dicha Arte de los primores del Dibuxo, de la hermosura, simetría y proporción que prescribe la Arquitectura. La Música, con la admirable mistura de voces, le ministra lo que necesita para un Relox de música, en campanas o flautas, etc.; por lo que no se me tendrá por arrojado el darle el distinguido título de liberal a la nobilísima Arte de la Reloxería.

Guadalajara se dedicó a analizar los avances de la ciencia de la relojería desde que se inventaron los primeros relojes hasta fines del siglo XVII, cuando se dejaron ver en el gran Teatro de la *Reloxería Científica*, Huygens, Hooke y Hauteville, cuyas realizaciones describe así:

La época de perfección y constitución científica de la Reloxería, comenzó desde el año de 1675, que apareció la primera Muestra (con Minutero y Muelle espiral³, en el Volante) inventada según los ingleses por el Doctor Hook, sabio de lo más sobresaliente de su tiempo; pero los holandeses quieren fuese Ugenio y otros que Hauteville.

A continuación, enumera los avances sucesivos de la relojería en el siglo XVIII: las ruedas catarinas en uno de los volantes, las montaduras de diamante y rubí en los pivotes, el templado de los aceros utilizados, el escapamento de cilindro, etc., y menciona a los inventores y peritos relojeros, Fatio de Duillier, Tompson, Windmills, Hubert, Graham, Elicot, Evans, Chabrier, le Roy, Baillon, Berthoud, Lepine, Gaudron, entre otros. Los dos últimos números de su obra los consagra a la descripción de las partes de un cronómetro, de sus funciones y de las mejoras posibles para lograr una mayor precisión, de acuerdo con los avances europeos más recientes. [Montucla (1802): III. 790, 792-794. IV. 41, 553].

Los problemas de relojería también preocuparon a Alzate, que propuso algunas pruebas para verificar la precisión de los relojes de bolsa y a José Francisco Dimas Rangel que en *Advertencias para el buen uso de los relojes de faltriquera y para hacer juicio de su bondad*, 1787 explicaba la relación entre cronometría y ciencias matemáticas y mecánicas.

3. Guadalajara aclara en una Nota: “*Muelle espiral* se llama a un hilo de acero escarchado y volteado de manera que forma un Caracol y Línea espiral, al que llaman regularmente *Péndula espiral*, y otros *Pelo* por parecer un cabello en su grueso”.

Otro tema a considerar es las AURORAS BOREALES. Dimas Rangel, además de relojero era experto en asuntos meteorológicos, y en 1789 mantuvo una aguda polémica acerca de la naturaleza de las Auroras boreales con Alzate y León y Gama, la cual incluía Física, Meteorología y Astronomía, y consecuentemente había que considerar la presión y la electricidad atmosféricas. La contemplación de este bello fenómeno meteorológico no era común en sitios de baja latitud, sin embargo, el 14 de noviembre de 1789 se observó una Aurora boreal en ciudad México [Maldonado Koerdell (1969): 257-268], lo que originó que Alzate y León y Gama explicaran su naturaleza para aliviar el pánico producido en la población: Alzate en *Gacetas de Literatura* [I, 231] *Noticia del meteoro observado en esta ciudad en la noche del día 14 del corriente*. Y León y Gama en *Gacetas de México*, [III, números 44 y 45, 10 y 22 de diciembre de 1789], *Discurso sobre la luz septentrional que se vio en esta ciudad el día 14 de noviembre de 1789 entre 8 y 9 de la noche*. Este fue el origen de un debate singular, al sentirse Alzate aludido e impugnado en el escrito de León y Gama, respondió con un violento artículo [I, 301], donde atacaba algunos de los puntos sostenidos por este, lo sustancial era lo concerniente al lugar donde se formaban las Auroras boreales, no obstante, coincidía con él y con el científico Jean-Jacques Mairan, en quien ambos se apoyaban, para afirmar que se formaban a una distancia muy superior al límite de la atmósfera terrestre [Mairan (1733): 40-85].

Mientras esto ocurría en el primer semestre de 1790, Dimas Rangel publicaba una obra de mérito científico, *Discurso físico sobre la formación de las Auroras boreales*, [1789] a la que siguió casi inmediatamente la de León y Gama, *Disertación física sobre la materia y formación de las Auroras boreales*, [(1790): 14-15] donde sostenía una tesis opuesta a las de Rangel, a quien no cita, e incluía un breve suplemento destinado a refutar las acerbas críticas de Alzate. Este en su *Gacetas*, cuando dio noticia de la aparición de ambas obras [I, 310 y 423], al referirse a la de León y Gama lo hace en término irónico, «*sistema por sistema era preferible el publicado por Rangel*». Alzate, después de ponderar con más detenimiento las tesis suscritas por su adversario, escribió en enero del año siguiente una dura crítica a la que le siguió, tres meses después un escrito de Rangel que Alzate incluyó en sus *Gacetas* [II, 145.158], con un título largo: *Carta de D. Francisco Rangel, al autor de la Gaceta de Literatura, que contiene varias reflexiones, tocante al sistema de D. Antonio de León y Gama, y al pie de ella ciertas notas de un anónimo* (Probablemente que el anónimo fuera Alzate). Rangel mostró estar mejor informado que su adversario, a quien refutó sus tres tesis fundamentales, que resumió en los siguientes términos:

Mi sistema, como se puede ver en el papel que publiqué, contiene tres partes como también el de el Sr. Gama. Primera, que las Auroras se forman dentro de los términos de la atmósfera; que es la contradictoria de la primera de ese caballero, que asienta que las Auroras tienen su asiento superior a la atmósfera. La segunda que la materia de que se forma este meteoro es el gas inflamable, a diferencia de la segunda de mi erudito contrincante, que quiere que sea el ether. La tercera que el agente que inflama esta materia es la electricidad, a distinción

de la tercera de mi sabio antagonista, que discurre ser la luna el agente que pone en movimiento y agita el éter.

Estudios posteriores dieron la razón a las teorías de Rangel, que ya habían superado con buenas bases científicas las especulaciones teóricas acerca de la naturaleza de las Auroras boreales. Según el bibliógrafo Beristáin, Rangel escribió una *Impugnación del sistema de la formación de las Auroras boreales de D. Antonio Gama*, impresa en México en 1791, que posiblemente no sea otra que la *Carta* publicada por Alzate. También a Rangel se atribuye *La química de Lavoisier y la óptica newtoniana en el Estudio Teórico de la Aurora Boreal*, 1789, en *La astronomía teórica novohispana: Francisco Dimas Rangel y la Aurora boreal de 1789*.

Actualmente se sabe que son un fenómeno de ionización en las capas altas de la atmósfera de la Tierra, debido a una descarga eléctrica causada por partículas procedentes del Sol. Algunas Auroras boreales se han llegado a localizar a más de 800 km de altura sobre el nivel del mar, por lo que no debe extrañarnos que León y Gama las situase más allá de los límites de la atmósfera.

La polémica sobre estos espectaculares fenómenos celestes puso de manifiesto el sensible cambio operado en los estudios de ciencia en la Nueva España en el último tercio del siglo XVIII, que básicamente atañen al tránsito de una concepción cualitativa de la ciencia a una cuantitativa, que era la que se estudiaba y practicaba en el Real Seminario de Minería. Dicho cambio estuvo presente en los cursos impartidos en él y por la obra de Física newtoniana, *Principios de física, matemática y experimental* (1802), que redactó Francisco Antonio Bataller (1751-1800) para tal fin. [Izquierdo, (1958): 89]. En él trataba los problemas de estática, cinética y dinámica de los sólidos, del vacío, de las leyes del movimiento, uniforme, acelerado y retardado, de las de la atracción, de los movimientos compuestos y de los vectores, del centro de gravedad, de los diversos tipos de balanzas y de los principios de algunas máquinas. También analizó la naturaleza de los fluidos, estudió los fundamentos de la hidráulica y la presión sobre los líquidos. Explicó las propiedades de los gases, su elasticidad, peso específico y los aparatos para determinarlas. Concluyó su obra con capítulos de óptica, vacío y leyes de la atracción, que eran los temas más tratados en la polémica antiperipatética de los decenios anteriores, y que estaban en los textos modernos sin espíritu sectario. Todos los temas expuestos en la obra tenían una marcada tendencia a la cuantificación, lo cual se manifiesta en los apuntes de Física redactados por alumnos del Real Seminario de Minería, por ejemplo, *Tratado de Física* manuscrito del estudiante Tomás Matías Causi.

A la Universidad de México también llegó esta ola renovadora, por ejemplo, la obra *Elementa recentioris philosophiae* de Díaz de Gamarra, cuyas secciones de Física y Astronomía contenían estudios avanzados que contribuyeron a la difusión de esas ciencias en México. También cabe citar la tesis defendida en 1791 por el estudiante Emmanuel de Araujo, *De mathematicis elementis*, claro indicio de esta renovación en los estudios científicos, porque después de analizar las tesis de Física sustentadas por los escolásticos y por los cartesianos, se adhería a los postulados del mecanicismo newtoniano [Trabulse (2017)].

En dicho siglo XVIII hubo personalidades que también contribuyeron al progreso de la minería, metalurgia y mineralogía novohispana, aunque la nómina es numerosa citaremos a dos de ellos. El tinerfeño Agustín de Betancourt y Molina (1758-1824), con *Memorias de las minas de Almadén* (1783) contribuyó con la exposición de ideas y prácticas modernas al desarrollo de la minería y metalurgia en la Nueva España, que como se sabe, su producción de plata dependía del azogue de esas minas castellanas.

El jesuita navarro Francisco Javier Alexo de Orrio publicó en Zacatecas *La física en la tierra y en los cielos*, y *Metalogía o Physica de los Metales* en tres volúmenes, pero solo se conoce hoy el primero. En ella pretendía mejorar la minería y metalurgia en América estableciendo un nuevo sistema metalúrgico basado en los principios más sólidos de Física sin escepticismo filosófico.

Concluimos con referencia a algunas obras de ciencia y técnica en la época de los movimientos independentistas escritas por hombres de ciencia, políticos y empresarios.

José Garcés y Eguía (?-1824) *Nueva teóricas y prácticas del beneficio de los metales de plata y oro por fundición y amalgamación* (1802).

Francisco de Paula Sanz (1745-1810), miembro de la Administración virreinal y técnico, en el virreinato del Perú, redactó un extenso proyecto legislativo, el *Código Carolino*, en el que limitaba la libertad de los dueños de ingenios al imponer una tasa máxima a los arrendamientos y el aumento del número de mitayos para posibilitar su concesión a más unidades de producción.

Lucas Alamán (1792-1853), empresario, naturalista, ensayista, político e historiador mexicano, publicó *Historia de México* (1849), y a él se debe la creación en ciudad México de un Gabinete de Historia Natural. En Londres fundó la Compañía Unida de Minas, que inició una explotación en Durango, en el Cerro del Mercado.

BIBLIOGRAFÍA

- ALZATE, J.A. (1788-1795). *Gacetas de Literatura de México*, I, 99, 298, 326. II, 74-79, 366. III, 128. IV, 49-61, 349, 358, 382.
- ARBOLEDA, L.C. y SOTO ARANGO, D. (1991). “Las teorías de Copérnico y Newton en los estudios superiores del Virreinato de 8 (1), 5-34.
- ARNÁIZ Y FREG, A. (1970). “Don Fausto de Elhuyar y de Zubice, y Don Manuel Andrés Manuel del Río, Catedráticos del Real Seminario de minería de México y descubridores del tungsteno y vanadio, respectivamente”, en *La Minería hispana e Iberoamericana*, VI Congreso Internacional de Minería, Cátedra de San Isidoro, León, 705..
- BARQUERA, W (1809). *Semanario Económico de Noticias Curiosas y Eruditas*, T-I, números 12, 20, 24, 28, 30
- BARTOLACHE, J. I. (1772). *Mercurio Volante*, número 2.
- BURKE, P., (2000), “La traducción de la cultura: el carnaval en dos o tres mundos”, capítulo 10, *Formas de historia cultural*, Ed. Alianza, Madrid. 2011, *Hibridismo cultural*, Ed. Akal, Madrid.
- CALDAS de, F.J. (1849), *Semanario de la Nueva Granada*, Librería Castellana, París, 530-531 y nota 2.
- CASTILLO MARTOS, M. (2021). *Andrés Manuel del Río Fernández científico madrileño mexicano, que descubrió el vanadio y colaboró en la independencia de México*, Edita, Archivo Histórico y Museo de Minería, A.C. Pachuca, Estado de Hidalgo. México.

- DÍAZ DE GAMARRA Y DÁVALOS, J.B. (1774). *Elementa recentioris philosophiae: Volumen primum*, Editores: Lic. D. Joseph. A Jauregui, México.
- GONZÁLEZ POLO, I. (1971) “Un raro impreso del arquitecto Guerrero y Torres”, *Boletín del Instituto de Investigaciones Bibliográficas*, n° 6, 151-159. (Véase: *La administración de D. Frey Antonio*. I, 247-250).
- GUADALAXARA TELLO de D. *Advertencias y reflexiones varias conducentes al buen uso de los relojes grandes y pequeños, y su regulación*. Imprenta nueva Madrileña de D. Felipe de Zúñiga y Ontiveros, México, 1777.
- HEILBRON, J.L. (1979). *Electricity in the 17th and 18th Centuries. A Study of Early Modern Physics*, Berkeley, University of California Press, pp. 108.112. Este autor cita como los más ilustrativos representantes de esta tendencia a los jesuitas Nicolás Cabeo, Honorato Fabri, Emmanuel Maignan, Francisco Lana Terzi, Gaspar Schott y Atanasio Kircher. Este autor cita como los más ilustrativos representantes de esta tendencia a los jesuitas Nicolás Cabeo, Honorato Fabri, Emmanuel Maignan, Francisco Lana Terzi, Gaspar Schott y Atanasio Kircher.
- IZQUIERDO, J. J. (1958). *La primera casa de las ciencias en México: el Real Seminario de Minería, 1792-1811*. Ediciones Ciencia, México, 89.
- JUNCO DE MEYER de V, (1973), *Gamarrá o el eclecticismo en México*, Fondo de Cultura Económica, México, 63-144.
- KNOWLES MIDDLETON, W.E. (1969), *Invention of the Meteorological Instruments*, The Johns Hopkins Press. Baltimore. 3-132. DAUMAS, M. (1953), *Les Instruments Scientifiques au XVII^e et XVIII^e siècles*, Presses Universitaires de France. París, 78.
- LAGUARDA TRÍAS, R.A. (1990). *La ciencia española en el descubrimiento de América: las tablas de coordenadas geográficas compiladas en la España medieval*, Valladolid, Publicaciones de la Casa-Museo de Colón y Seminario Americanista de la Universidad de Valladolid. Serie de Cuadernos Colombianos.
- LEÓN Y GAMA de A., (1790). *Disertación física sobre la materia y formación de las Auroras boreales*, México, Felipe de Zúñiga y Ontiveros, 14-15.
- MAIRAN, J.J. (1733). *Traité physique et historique de l'aurore boreale*. A l'Imprimerie Royale, París, 40-85.
- MONTUCLA, J.E. (1802), *Histoire des mathématiques*. Henri Agasse, París. III. 790. IV. 553.
- MUTIS, J.C. (1983). *Escritos científicos de José C. Mutis*, compilación y prólogo de Guillermo Hernández de Alba, (2 vols.) Bogotá, Instituto colombiano de Cultura Hispánica.
- NEGRÍN FAJARDO, O. y SOTO ARANGO. D. (1984). “El debate sobre el sistema copernicano en la Nueva Granada durante el siglo XVIII”, *LLULL*, 7, 53-75.
- RANGEL, D. (1789). *Discurso físico sobre la formación de las Auroras boreales*, Impreso en la oficina de los herederos de J. de Jauregui. México.
- SÁNCHEZ FLORES, R. (1980), *Historia de la tecnología y la invención en México. Introducción a su estudio y Documentos para los anales de la técnica*, Fomento cultural Banamex A.C. México. 212-233.
- SANZ LÓPEZ, C. (1977). La Ciencia Moderna fue realmente una consecuencia normal y necesaria del Descubrimiento de América, *Anuario de Estudios Americanos*, XXXIV.
- TRABULSE, E. (1973). “Díaz de Gamarra y sus Academias Filosóficas”, *Humanidades*, I, México, 235-249. Incluye la reproducción facsimilar de las *Academias Filosóficas* de 1774.
- (2017) *Historia de la ciencia en México*, primera edición electrónica, www.fondodeculturaeconomica.com
- VILLANUEVA, D, (2022). *El País*, sábado 26 de marzo, 12.

CAMBIO CLIMÁTICO Y ENERGÍAS RENOVABLES. NOTAS DEL MODERADOR

*Intervención del
profesor José Luis de Justo Alpañés
en la conferencia celebrada el 9 de noviembre de 2021,
dentro del ciclo RASC - Fundación Cajazol.*

ALGUNAS PUNTUALIZACIONES SOBRE LA ÚLTIMA CUMBRE DEL CAMBIO CLIMÁTICO

En la reciente cumbre del G-20 los principales líderes del mundo, responsables del 75% de las emisiones de CO₂, se comprometieron a reducir el calentamiento de la Tierra a 1,5°, en una fecha indeterminada de este siglo. En la cumbre posterior de Glasgow se acordó que esta reducción se hiciera antes del final del siglo. Sí se acordó “reducir” el uso del carbón.

El texto final incorpora las últimas conclusiones del informe del panel de expertos del IPCC, que salió a la luz este verano. Reconoce que para limitar el calentamiento global a 1,5° C son necesarias “reducciones de emisiones rápidas, profundas, y sostenidas”. Concretamente, esta reducción debe ser del 45% para 2030 respecto a los niveles de 2010. Y reconoce “con mucha preocupación” que, en lugar de reducirse a esta velocidad, se estima que crezcan un 13,7% por encima del nivel de ese año.

Según datos de las emisiones de CO₂, en el año 2020, los países más contaminantes son China, con un 30,7%, seguido de EEUU con un 13,8%, la India con un 7,1% y Rusia con un 4,6%. Estos 4 países suman un 56,2% de las emisiones. A la presente cumbre sobre el cambio climático de Glasgow no han acudido los líderes de China y Rusia, que suman el 35,3 % de las emisiones. ¿Demuestra un cierto desinterés por el tema? El primer ministro indio, Narendra Modi anunció que su país prevé alcanzar la neutralidad de carbono en 2070, dos décadas más tarde de lo que pide la ONU.

Para cumplir con los acuerdos de la anterior cumbre, en París, sobre el cambio climático, China debería cerrar 588 plantas de carbón, pero sus gobernantes continúan construyendo plantas, y financiando ¼ de todas las plantas térmicas fuera de sus fronteras. En un discurso poco común ante la Asamblea General de la ONU, el presidente de China, Xi Jinping, asumió este martes un nuevo e importante compromiso climático en nombre del mayor emisor de gases de efecto invernadero del mundo: China no construirá ningún nuevo proyecto de energía a carbón en el extranjero, dijo Xi en un discurso grabado antes de la Asamblea.

En la cumbre de Glasgow, 103 países se han comprometido a reducir de aquí a finales de la década un 30% sus emisiones de metano, un nocivo gas de efecto invernadero. China, la India y Rusia (un 42,5% de las emisiones) ya han dicho que no firmarán.

En cambio, la UE (que solo es responsable del 7,9% de las emisiones), pretende una reducción del 55% de las emisiones en 2030 (Andalucía un 41%) y alcanzar cero emisiones en 2050, a costa de un colosal esfuerzo de sus países miembros, que repercute fuertemente en el coste de la luz. ¿No se ha excedido la UE en sus promesas?

EL PRECIO DE LA LUZ

El precio medio del pool ha cerrado 2020 a unos 40 €/MWh, el más bajo desde 2004. El precio medio de la tarifa PVPC en 2021 ha sido de unos 200 €/MWh según OMIE (Operador del Mercado Ibérico de Energía).

Los factores que han propiciado que en un año la luz sufra este aumento, según los datos del (OMIE), son principalmente dos: el precio de los derechos de emisión de CO₂ en el mercado europeo y también el precio del gas a nivel internacional. Ambos han sufrido aumentos importantes.

Conviene recordar cómo se confecciona el pool energético. Al tener las ofertas de venta estas se ordenan según el coste de producir la electricidad, siendo las más baratas son las renovables y las nucleares.

Si con estas dos no hay suficiente energía para cubrir todas las horas, se añaden otras tecnologías, como ciclos combinados o el carbón, que son más caros de producir. Son estas tecnologías las que marcan el precio final de cada hora a pesar de que la electricidad renovable y nuclear tenga un coste mucho más barato.

Al parecer este es un pool acordado por la UE, al que España se adhirió. Este sistema hizo que se multiplicaran las solicitudes de construcción de plantas renovables.

Un titular del periódico El Mundo: “El coste de los derechos de emisión se cuadruplica y asfixia a la cerámica”. Esto sería aplicable al resto de la industria española, por ejemplo, a la producción de electricidad en Galicia,

La futura norma plantea recortar los ingresos que reciben las centrales nucleares, el 80% de la potencia hidroeléctrica instalada y los parques eólicos anteriores a la publicación de la Directiva 2003/87/CE, que creó el mercado europeo de CO₂. Los elevados precios de este mercado (ETS por sus siglas en inglés) se repercuten en el mercado mayorista de la electricidad y en la actualidad proporcionan a estas plantas unos beneficios extraordinarios -dividendo de carbono- que el Gobierno no considera adecuados.

Parece lógica, en principio, la postura del Gobierno, pero el Foro de la Industria Nuclear Española ha expresado este martes su rechazo al proyecto de ley sobre la retribución del CO₂ no emitido del mercado eléctrico y al Real Decreto-Ley aprobado recientemente para reducir el precio de la luz, y ha asegurado que su aplicación podría derivar “en el cese de la actividad de todo el parque nuclear”. También ha advertido que parar las centrales nucleares en España pondría en riesgo el 23% de la producción eléctrica y que si el proyecto de Ley del CO₂ sale adelante se verán obligados a cesar la

actividad del parque nuclear. Pero esto no saldrá gratis y podría encarecer aún mucho más el recibo de la luz. Hay que señalar que, en todo caso, el cierre de todas estas centrales está programado para el año 2035.

¿Estamos llegando a un callejón sin salida?

TRANSICIÓN ENERGÉTICA Y ENERGÍAS RENOVABLES

*Conferencia pronunciada por
el profesor Antonio Gómez Expósito,
dentro del ciclo RASC - Fundación Cajasol,
el 9 de noviembre de 2021.*

RESUMEN

Existen suficientes motivos que justifican la transición energética que estamos viviendo en la actualidad, incluyendo especialmente, pero no solo, el cambio climático. Entre los diversos instrumentos existentes para descarbonizar la economía, sin duda el de mayor potencial lo constituyen las energías renovables, que conducirán necesariamente a un mundo mucho más electrificado. Este artículo revisa sucintamente la evolución, estado actual, perspectivas futuras y principales barreras de las energías renovables, sobre todo eólica y fotovoltaica, dedicando especial atención al caso español.

LIMITACIONES DEL SISTEMA ENERGÉTICO DEL SIGLO XX

Desde la introducción de la máquina de vapor en el siglo XVIII, pero sobre todo desde finales del siglo XIX, con el desarrollo de la electricidad y el motor de combustión interna, el ser humano no ha dejado de aumentar exponencialmente su consumo energético. Actualmente, alrededor del 85% de la energía primaria mundial procede de combustibles fósiles (carbón, petróleo, gas). Entre otros efectos medioambientales negativos, relacionados, principal pero no exclusivamente, con la calidad del aire en las grandes ciudades, este modelo energético ha hecho que las emisiones globales de CO₂ a la atmósfera hayan pasado de unos 200 millones de toneladas/año en 1850 a más de 36.000 millones de toneladas/año en la actualidad, lo que supone el 75% de las emisiones totales de efecto invernadero.

Además, el sistema energético actual es enormemente ineficiente. De toda la energía primaria consumida, poco más del 60% acaba llegando al consumidor final como energía utilizable. El resto se pierde durante los procesos de extracción, transformación, transporte, etc., lo que pone claramente de manifiesto la ineficiencia del sistema vigente. Por ejemplo, la generación eléctrica a partir de carbón o gas tiene una eficiencia promedio de poco más del 30%, si bien para los modernos ciclos combinados de gas esta cifra se sitúa en torno al 50%, y sólo en las relativamente pequeñas centrales de coge-

neración, donde se aprovecha simultáneamente la electricidad y el vapor para procesos industriales, el rendimiento llega al 80%. A ello hay que sumar que buena parte de la energía final también se desperdicia, cuando se utiliza en sistemas de conversión de energía térmica en mecánica, por su propia naturaleza poco eficientes. Por ejemplo, la eficiencia tanque-rueda de los vehículos ligeros actuales, que utilizan motores de combustión, varía entre el 15% para los más antiguos y el 30% para los modernos diseños híbridos [Smil, 2017].

Por otro lado, no todos los habitantes del planeta tienen las mismas oportunidades de acceso a los combustibles fósiles. Según datos de la ONU, casi mil millones de personas carecen de acceso a la electricidad, mientras que más de 2.500 millones tampoco disponen de un sistema salubre para conservar y cocinar sus alimentos. Por ejemplo, cada ciudadano de Estados Unidos o Qatar consume en promedio una 35 veces más energía que uno de Bangladesh, lo cual es una muestra de lo injusto que resulta el sistema energético actual, como ocurre con los sistemas sanitario, educativo, etc.

Finalmente, conviene recordar que los combustibles fósiles son finitos y cada vez más costosos de extraer. Ello implica que el retorno energético de las instalaciones de extracción de cualquier combustible fósil (sea carbón, petróleo o gas) va menguando con el tiempo, lo cual se traduce en un incremento continuo de la cantidad de energía invertida por cada unidad de energía suministrada. Actualmente, la extracción y producción de combustibles fósiles líquidos (derivados del petróleo) requiere alrededor del 15% de la energía contenida en los mismos, y al ritmo actual de extracción dicha cifra podría acercarse al 50% en 2050 [Delannoy, 2021].

Por los motivos enunciados en los párrafos anteriores, desde hace varias décadas el ser humano ha constatado que el modelo económico-energético actual, basado en la combustión de fósiles, no es sostenible en el largo plazo, y busca alternativas al *statu quo* que le permitan seguir creciendo de manera compatible con la biosfera.

LAS ENERGÍAS RENOVABLES EN EL MUNDO: EVOLUCIÓN Y SITUACIÓN ACTUAL

Desde que supo dominar el fuego, hace más de 500.000 años, el ser humano no ha dejado de usar la biomasa como fuente de energía. Todavía en la actualidad, la biomasa es uno de los principales recursos energéticos en muchos países subdesarrollados. Sin embargo, globalmente, la biomasa sólo representa escasamente el 10% de la energía primaria utilizada, y no es previsible que este porcentaje supere el 15% a finales de siglo, si se pretende hacerlo de forma sostenible.

Por lo que respecta a la energía hidráulica, de cuyo aprovechamiento existe tanto constancia escrita, ya en el siglo III a. C., como evidencias arqueológicas de los molinos de agua de la época romana, su situación actual como fuente de energía eléctrica difiere mucho entre regiones. Así, mientras que algunos países (Noruega, Congo, Paraguay, etc.) producen prácticamente toda su electricidad con energía hidráulica, este recurso es casi inexistente en otros (Emiratos Árabes, Argelia, etc.). Mundialmente, poco más

del 15% de la electricidad se produce en saltos de agua, destacando la presa de las Tres Gargantas en China (la de mayor potencia instalada, con 22.5 GW), y la de Itaipú en Brasil-Paraguay (la que genera mayor energía anual, unos 100 TWh).

Desgraciadamente, según las previsiones de la AIE y otros organismos, ni la biomasa ni la hidráulica tienen un potencial de crecimiento notable, con capacidad para encarar las grandes necesidades que un futuro sistema descarbonizado demandará. Tampoco se espera que la energía de los océanos (undimotriz, mareas y corrientes) aporte una fracción significativa del mix eléctrico futuro. Consecuentemente, al menos aquellos países que descarten la opción de la energía nuclear, no tendrán más remedio que apoyarse principalmente en las energías eólica y solar para lograr la mencionada transición energética.

Amén de su utilización para propulsar barcos de vela, presentes en casi todas las civilizaciones antiguas (desde los egipcios y fenicios, en el Mediterráneo, hasta los chinos), la energía del viento se ha utilizado en rudimentarios molinos desde hace más de mil años. Véanse por ejemplo los molinos de cereal de eje vertical, en Nashtifan (Irán), que se remontan al siglo XI, o los molinos de extracción de agua en Lassithi (Creta), del siglo XV, por no hablar de los populares molinos de La Mancha u Holanda. Prácticamente desde la invención de la electricidad, a finales del siglo XIX, los molinos de viento se han utilizado en zonas rurales para alimentar pequeños consumos eléctricos. Pero no es hasta bien entrados los años 80 del siglo pasado, tras las crisis petroleras de los 70, cuando se empieza a considerar seriamente la utilización de la energía eólica para producir electricidad masivamente, en parques eólicos compuestos de modernas máquinas de gran tamaño, ubicados tanto en tierra como en aguas poco profundas.

Durante la primera década del siglo XXI, la energía eólica se benefició de numerosas mejoras tecnológicas, tanto en materiales como en electrónica de potencia y máquinas eléctricas rotativas (desde las primeras turbinas con generadores de inducción, hasta las actuales de imanes permanentes), así como de la consecuente reducción de costes. En la actualidad, se están instalando rutinariamente en tierra turbinas de 4-5 MW de potencia, frente a las máquinas de 2-3 MW de hace unos años, mientras que en eólica *off-shore* se han desarrollado turbinas de hasta 15 MW, cuyas palas barren una superficie de unos 200 m de diámetro. La potencia eólica mundial acumulada ha sobrepasado en 2020 los 740 GW, más del triple que hace una década, y su contribución a la producción eléctrica global supone ya más del 6%. El líder de este tipo de energía en términos relativos es Dinamarca, donde casi el 60% de la electricidad proviene del viento.

En el ámbito de la energía solar se distinguen básicamente dos tipos de tecnologías, la fotovoltaica (FV) y la termosolar. Esta última puede producirse de forma distribuida, mediante placas ubicadas en las cubiertas de edificios, que suministran agua caliente de baja temperatura, o bien de forma concentrada, en grandes plantas donde se produce vapor a alta temperatura para mover turbinas de tamaño medio (entre 10 y 50 MW). Dichas plantas pueden utilizar espejos planos, que concentran la radiación solar en un punto elevado, o bien sistemas lineales cilindro-parabólicos, que concentran la radiación en una tubería ubicada en el foco de la parábola, por donde circula un fluido portador de calor. Una de las principales ventajas de este tipo de plantas es la posibilidad de alma-

cenar energía térmica en grandes tanques de sales fundidas, para ser utilizada durante las primeras horas de la noche. Actualmente, la potencia global acumulada de plantas termosolares ronda los 7 GW, es decir, unas 100 veces menos que la eólica, habiendo sufrido un notable estancamiento en los últimos años, por su mayor coste y complejidad respecto a la energía FV.

Si bien la energía FV comenzó a utilizarse en los años 60, primero en aplicaciones aeroespaciales y luego en instalaciones remotas (boyas marítimas, repetidores de TV, etc.), no fue hasta 1982 cuando Arco Solar construyó en California la primera instalación FV conectada a la red (1 MW de potencia). Dos años después, también en California, se construyó otra planta de 5,4 MW. Sin embargo, el verdadero impulso a la energía FV se produjo en 1989, cuando Alemania puso en marcha el programa conocido como “1.000 tejados”, seguido en 1999 por el más ambicioso “100.000 tejados”, ambos dotados con generosas primas a la producción FV distribuida. Varios años más tarde (2007-2008), tanto Alemania como España destacaron en el panorama internacional por el importante apoyo económico al despliegue masivo de plantas FV, aunque con notables diferencias entre ambos modelos, a favor del *Energiwende* alemán. En 2008, con unas 60 plantas de más de 10 MW, España se convirtió fugazmente en líder de este tipo de instalaciones sobre suelo, mientras que en Alemania la regulación favoreció las plantas más pequeñas sobre tejados.

Con aproximadamente una década de retraso, la energía FV ha seguido una senda de crecimiento exponencial, muy similar a la que antes vivió la eólica, con tasas de crecimiento anual que actualmente rondan el 20%. En 2020, la potencia global acumulada de plantas FV superó por primera vez a la eólica, con unos 750 GW, diez veces más que hace una década. Aunque en la actualidad la energía solar sólo supone escasamente el 4% del total de electricidad producida a nivel mundial, si se mantienen las tasas de crecimiento actuales y no surgen obstáculos regulatorios o de otro tipo (escasez de materias primas), la producción FV se duplicará aproximadamente cada cinco años.

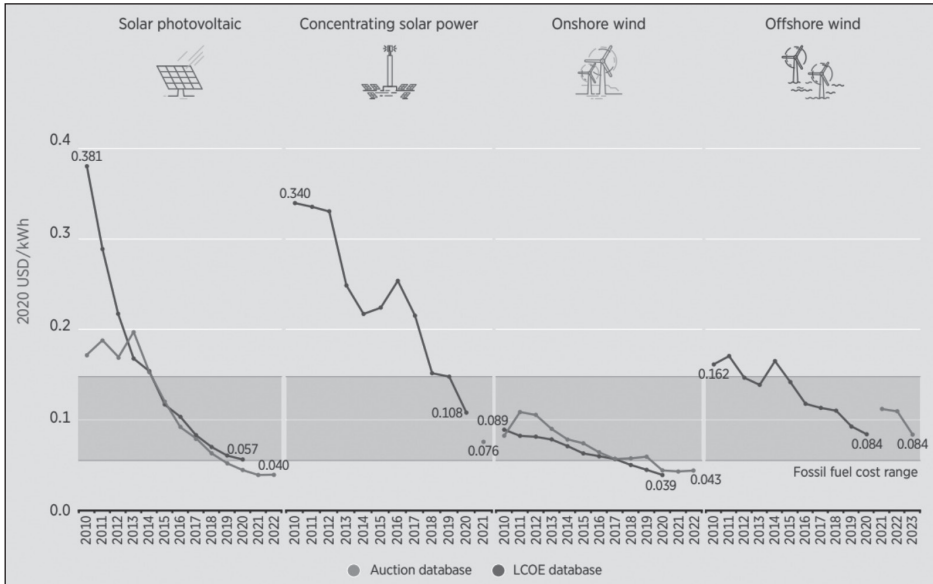
En 2020 se destinaron globalmente más de 148.500 millones de dólares estadounidenses al desarrollo de la energía solar, mientras que la eólica recibió una inversión próxima a los 143.000 millones [Statista, 2021]. En conjunto, más del 80% de la nueva generación instalada en 2020 fue renovable, lo cual habría sido impensable hace solo un lustro.

Una característica distintiva de las energías renovables, frente al sistema anterior basado en combustibles fósiles, es su naturaleza distribuida o difusa, que encaja perfectamente con el carácter modular de las tecnologías desarrolladas para aprovechar estos recursos, sobre todo la FV. Esta peculiaridad, que hace dos décadas se consideraba el peor inconveniente de las renovables, supuestamente porque impedía aprovechar lo que los economistas llaman “economía de escala”, ha mostrado a la postre ser una de sus principales ventajas. La razón de esa aparente contradicción radica en que, mientras que la economía de escala en los sistemas fósiles centralizados surge principalmente del incremento de eficiencia conforme crece el tamaño de la planta (o sea, una planta de gas de 1000 MW es más eficiente que 10 plantas de 100 MW), en el caso de las renovables la reducción de costes se produce por la producción masiva de sistemas modulares idé-

ticos (paneles FV o turbinas eólicas), de forma que, cuantos más paneles FV se fabrican, más baratos resultan.

La figura 1 muestra la evolución de los costes medios ponderados (LCOE) de las principales tecnologías renovables en la última década, junto a una banda o rango de precios del coste medio de la generación basada en combustibles fósiles. Puede apreciarse que el coste de la generación FV se ha reducido casi el 90% desde 2010, hasta un promedio de 50 €/MWh, mientras que en las subastas de algunos países dicho coste ha bajado hasta la sorprendente cifra de 25 €/MWh (caso de España), o incluso inferiores a 20 €/MWh (caso de Portugal o Marruecos). Como muestra la figura, tanto la FV como la eólica *on-shore* resultan ya más baratas para producir electricidad que la utilización de gas o carbón.

FIGURA 1
EVOLUCIÓN DE COSTES (LCOE) DE DIFERENTES TECNOLOGÍAS RENOVABLES
[FUENTE: IRENA RENEWABLE COST DATABASE].



LAS ENERGÍAS RENOVABLES EN EL MUNDO: BARRERAS Y PERSPECTIVAS FUTURAS

Existe unanimidad entre los expertos respecto al prometedor futuro de las energías renovables, que sin duda alguna se convertirán en el principal componente del mix eléctrico (ya lo son en muchos países, incluida España), y por tanto del conjunto de la energía final consumida, donde la electricidad deberá tener un peso mucho mayor que en la actualidad, si de verdad queremos conseguir emisiones nulas a lo largo del siglo XXI

[Irena, 2019]. Para acelerar esta transición hacia un mundo basado principalmente en energía solar y eólica, deben conjugarse sucesivas mejoras tecnológicas en aspectos aún sin resolver satisfactoriamente, como el almacenamiento de energía renovable, con una adecuada regulación que atraiga y facilite inversiones masivas hacia el sector energético.

Paradójicamente, gracias a la drástica reducción de costes mencionada en el epígrafe anterior, la principal barrera para el despliegue rápido y generalizado de las energías renovables la constituye el actual sistema centralizado basado en combustibles fósiles. En efecto, las masivas inversiones en toda la cadena de producción de los combustibles fósiles de las últimas décadas (exploración de nuevos yacimientos, refino, almacenamiento y distribución) aún no están amortizadas, por lo que corren el riesgo de convertirse en activos “hundidos” si la transición energética ocurriese demasiado rápido. Ello explica en gran medida la fuerte oposición al desmantelamiento del sistema actual por parte de las multinacionales de los sectores tradicionales (carbón, petróleo y gas), que necesitan más tiempo del que disponemos para lograr un “aterrizaje” suave hacia el nuevo modelo energético. Por dicho motivo, se considera que países como India, carentes de las potentes y costosas infraestructuras existentes en el mundo desarrollado, podrán avanzar más rápido hacia un nuevo sistema, mucho más sostenible y descentralizado, que no tendrá que demoler el sistema existente, siempre que atraigan las suficientes inversiones.

En el aspecto regulatorio, los principales temas que resultarán determinantes para el futuro de la energía renovable son los siguientes:

1) Un adecuado diseño y coordinación de los mecanismos de subastas actualmente en boga, con otras fuentes de recuperación de la inversión, tales como los mercados mayoristas de electricidad o los contratos bilaterales con grandes clientes (conocidos como *Power Purchase Agreements*, o PPAs). En este sentido, los inversores están muy preocupados con la participación de la renovable en los mercados mayoristas de electricidad, que fueron diseñados hace 25 años sin tener en cuenta las peculiaridades de los generadores renovables, por el denominado efecto “canibal”¹. Por ello, resulta urgente que, cuanto antes, se ponga en marcha un nuevo diseño de mercados mayoristas en todos los horizontes de tiempo (desde el mercado de servicios complementarios hasta los posibles mercados de potencia firme, pasando por el mercado horario de energía). Esta necesidad de reformar los mercados eléctricos se ha visto acrecentada recientemente por la volatilidad de precios observada en mercados como el europeo, debida en gran medida al inusualmente elevado precio del gas y de las emisiones de CO₂, pero también a un diseño erróneo u obsoleto de los mercados eléctricos, que el regulador europeo ACER (Agencia de Cooperación de los Reguladores de la Energía) se niega de momento a reconocer.

2) Un adecuado equilibrio regulatorio entre las plantas de gran tamaño, instaladas sobre suelo, y las pequeñas instalaciones instaladas sobre tejado, es decir, entre un mo-

1. El efecto de “canibalización”, como lo denominan los economistas, consiste en que conforme entran nuevos agentes a un mercado marginalista más o menos consolidado, con costes variables mucho más bajos que los existentes, los precios pueden llegar a bajar tanto que los entrantes no obtienen ingresos suficientes para recuperar la inversión.

delo centralizado que pretende replicar el viejo modelo de instalaciones térmicas del pasado, cuya principal y casi única ventaja es la reducción de costes unitarios, o un modelo esencialmente distribuido, cuyas principales ventajas se derivan de su proximidad al consumo (mayor resiliencia, menor necesidad de despliegue de redes, mejor aprovechamiento de la superficie, etc.). El riesgo para algunos países radica en que los mecanismos de subastas y las presiones de los *lobbies* económicos conduzcan a un sistema donde casi toda la potencia renovable instalada sea de gran escala (centralizada).

3) Una adecuada regulación de los sistemas de almacenamiento, que muchos consideran el “Santo Grial” de las renovables no gestionables, como la FV y la eólica. En efecto, en los futuros sistemas eléctricos, con una penetración renovable superior al 80-90%, será crítico poder almacenar los grandes excedentes de renovables que se producirán, de forma barata y en largos periodos de tiempo, para ser utilizados de noche o en invierno. En la actualidad, el almacenamiento está considerado prácticamente un simple instrumento de arbitraje de precios para generadores¹, aunque la última directiva de la UE del “paquete de energía limpia [Comisión Europea, 2019], pretende cambiar este estado de cosas, siquiera sea tímidamente. Lo deseable sería que el almacenamiento tuviese identidad jurídica propia, y fuese considerado como un nuevo agente del sistema, diferenciado de los demás, con sus propios modelos de negocio, que en un mundo casi 100% renovable irán mucho más allá del arbitraje de precios.

En el aspecto tecnológico, se esperan todavía notables mejoras de rendimiento y reducción de costes en células FV, con la introducción de nuevos materiales y tecnologías de fabricación. Actualmente, la tecnología FV más cercana a su despliegue masivo es la basada en células bifaciales, que podría conseguir una cuota de mercado del 50% hacia 2030, según un reciente estudio de NREL [NREL, 2019]. Otra tecnología en la que se está avanzando mucho en el laboratorio, aunque todavía no se aplica en instalaciones terrestres, son las células FV multiunión, con las que teóricamente se pueden conseguir eficiencias mucho más elevadas (hasta del 70%) que la de las células convencionales de una sola unión (alrededor del 32-35%). Aparte de un coste elevado, y de la necesidad de usar seguimiento a dos ejes, las células multiunión actuales, utilizadas por ejemplo en las misiones a Marte, adolecen de usar componentes tóxicos y poco comunes en la corteza terrestre [MIT, 2015].

En el sector eólico *on-shore*, amén del continuo aumento del tamaño de las máquinas, limitado sobre todo por las dificultades del transporte terrestre de las palas y el mayor impacto visual, se sigue avanzando en sistemas de control más sofisticados, que faciliten su integración en la red eléctrica. Si bien los lugares con mayor potencial eólico ya están ocupados en países como España, la repotenciación de los parques existentes con las nuevas generaciones de turbinas permitirá todavía aumentar notablemente la potencia instalada en tierra. Sin embargo, la energía eólica *on-shore* se está encontran-

2. Las actuales centrales de almacenamiento por bombeo hidráulico, en las que España es una potencia, se introdujeron precisamente por este motivo, en paralelo al despliegue de centrales nucleares en el último cuarto del siglo pasado. Resultaba más barato hacer trabajar a las nucleares a plena potencia, y almacenar el excedente nocturno, que modular la potencia producida por dichas centrales para seguir a la demanda.

do cada vez con más oposición social en países con una elevada penetración de esta tecnología, como ocurre en Alemania, donde las restricciones medioambientales son cada vez más exigentes. Por ello, el sector tiene depositadas sus esperanzas sobre todo en el potencial de la eólica *off-shore*, que hasta ahora se ha limitado a ubicaciones en plataformas continentales, de aguas poco profundas. En base a la experiencia de sectores como el petrolero en plataformas marinas, se esperan en el futuro notables mejoras tecnológicas en plantas eólicas flotantes, aptas para aguas profundas.

LAS ENERGÍAS RENOVABLES EN ESPAÑA: EVOLUCIÓN Y SITUACIÓN ACTUAL

Las energías renovables han seguido en España una trayectoria un tanto errática, aunque globalmente positiva, en la que abundan los experimentos regulatorios fallidos y los cambios de rumbo. Si bien nuestro país fue pionero en algunas de las tecnologías renovables, como la eólica o la termosolar, no es menos cierto que la década pasada fue una década perdida desde este punto de vista, debido en parte a las graves consecuencias de la crisis de 2008, pero también a la miopía y los errores cometidos por los responsables políticos del gobierno de turno.

Con 17 GW de potencia hidráulica instalada (12% de la producción eléctrica en 2020), España puede considerarse un país relativamente privilegiado en comparación con muchos de sus vecinos europeos. A los embalses convencionales hay que sumar otros 3,5 GW de centrales de bombeo³, en su mayoría instaladas en los años 90 para aprovechar los excedentes nocturnos de producción nuclear de bajo coste. Tradicionalmente, desde el régimen pre-democrático, toda la producción hidráulica española ha estado gestionada, mediante concesiones a largo plazo, por varias empresas privadas, que a cambio de un modesto canon por el uso del agua han podido explotar en su propio beneficio un bien común a veces escaso. Actualmente, este modelo concesional está en entredicho, y muchos expertos reclaman que la gigantesca capacidad de almacenamiento que tienen nuestros embalses (entre 25 y 30 TWh/año) sea puesta a disposición del operador del sistema eléctrico. En efecto, como se comentó anteriormente, en un futuro sistema 100% descarbonizado, será necesario almacenar ingentes cantidades de energía, lo cual requerirá un volumen de inversiones considerable. En ese contexto, resulta evidente que una gestión óptima del patrimonio hidráulico común, por parte de un operador independiente, redundaría en un ahorro notable para el conjunto de la sociedad.

Junto a un puñado de países, como California, Dinamarca o Alemania, España fue pionera en el desarrollo de la energía eólica, quizá el mejor exponente del potencial industrial de nuestro país en energías renovables. Con 27 GW instalados, todos ellos en tierra firme, España es el quinto país en potencia eólica a nivel mundial, sólo por detrás de países mucho más grandes, como China (240 GW), Estados Unidos (110 GW),

3. Centrales hidráulicas reversibles, que pueden utilizar el sistema generador-turbina como un grupo motor-bomba, para elevar agua a un depósito superior, que puede ser turbinada posteriormente.

Alemania (62 GW) e India (40 GW). Aunque el potencial eólico español en tierra dista mucho de estar agotado, los principales esfuerzos a futuro deberán centrarse en la eólica *off-shore*, todavía inédita en España debido a la ausencia de una plataforma continental similar a la existente en el Báltico o el Mar del Norte.

En el sector termosolar, España no solo fue pionera (con la planta piloto solar de Almería), sino que dispone de una potente industria que ha colocado a nuestro país en cabeza del *ranking* mundial en potencia instalada (2,5 GW), por delante de Estados Unidos. Lamentablemente, este sector vive momentos de incertidumbre en la actualidad, no solo en España sino en el panorama internacional, debido en gran medida a su dificultad para competir en costes con la energía FV.

Mención especial merece la rocambolesca evolución de la energía FV en nuestro país. Si hasta el año 2006 su presencia era casi testimonial, la potencia instalada en el bienio 2008-10 superó los 4 GW, convirtiendo a España en el principal destino de las placas FV *made in* China, y arruinando paradójicamente cualquier posibilidad para competir de los fabricantes nacionales, como la desaparecida Isofotón. Esta burbuja FV se debió al erróneo diseño de los incentivos contemplados en el RD 661/2007, que garantizaba unas primas, durante toda la vida útil de la planta, del orden de cinco veces los precios minoristas de entonces (o casi diez veces los precios mayoristas), sin límite alguno a la potencia instalada anualmente. La avalancha de instalaciones fue de tal magnitud que, de no ponerse coto, habría ocasionado la quiebra del sector eléctrico. Desde entonces, prácticamente hasta la actualidad, los sucesivos gobiernos no han cesado de legislar para intentar contener el déficit del sistema eléctrico, que llegó a superar los 38.000 millones en 2013, implantando diversas medidas con carácter retroactivo que los grandes fondos de inversión recurrieron en arbitrajes internacionales (afortunadamente para España con poco éxito para ellos).

Como consecuencia de esta debacle, la potencia de plantas solares (FV y termosolar) instalada en España durante el período 2012-18 fue prácticamente nula. Afortunadamente, tras una década perdida, cuando la drástica reducción de costes de la eólica y la FV dejó meridianamente claro que dichas tecnologías podrían competir en los mercados sin necesidad de primas, las subastas de capacidad renovable de 2017 y 2021 han reconducido al sector a la senda del crecimiento. De ese modo, mientras que la potencia FV y termosolar instalada a finales de 2018 era de 7 GW, a finales de 2020 ya se superaban los 14 GW. Sólo en 2019 se instalaron la friolera de 6.5 GW de FV, pulverizándose todos los registros anteriores. En paralelo, debido principalmente a la nueva legislación (RD-15/2018) que derogó el famoso “impuesto al sol”, simplificando notablemente los trámites administrativos y técnicos, el autoconsumo ha vivido también un crecimiento espectacular en los últimos años, pasando de unos testimoniales 240 MW en 2018 a 2,5 GW en la actualidad, lo que supone un crecimiento del 1000% en dos años.

Para entender mejor hasta qué punto las decisiones políticas y regulatorias pueden afectar el futuro de la economía, consideremos el siguiente dato: hasta la fecha, el montante de los incentivos pagados a las plantas incluidas en el sistema RECORE (renovables, cogeneración y residuos) supera los 110.000 millones, y sigue creciendo a un ritmo de unos 5.000 millones/año [Sevillano, 2021]. A los precios actuales, dicha

cantidad permitiría construir unos 200 GW de plantas FV, que hacen palidecer los poco más de 4 GW que se instalaron entre 2008-09, para beneficio de la industria solar China.

En los últimos años, España ha venido produciendo entre el 35% y el 43% de energía eléctrica renovable, dependiendo de las condiciones meteorológicas de cada año, cifra que se está elevando de forma sostenida con las incorporaciones que han traído las últimas subastas, sobre todo de plantas FV. En 2020, el 44% de la electricidad producida fue renovable [Red Eléctrica, 2020], mientras que en los primeros seis meses de 2021 dicha cifra ha superado el hito del 50%, más del 75% procedente ya de energía solar y eólica.

HACIA UN SISTEMA ELÉCTRICO 100% RENOVABLE EN ESPAÑA

De cara a 2030, España ha adquirido con la Unión Europea los compromisos enunciados en su Plan Nacional Integrado de Energía y Clima, conocido como PNI-EC (MI-TECO 2019), considerado como muy ambicioso por algunos, pero superado por la realidad en algunos aspectos. Básicamente, este plan pretende mantener los actuales ciclos combinados, así como la hidráulica y la fracción renovable de la cogeneración (el carbón ya se da por amortizado), reducir a la mitad la nuclear y más que duplicar la renovable, pasando de los 27 GW eólicos y 14 GW fotovoltaicos actuales, a 50 y 39 GW respectivamente. Ello conduciría a un parque generador con una potencia total de 160 GW, de los que 120 GW serían renovables, lográndose un 74% de producción anual de origen renovable. Sin embargo, teniendo en cuenta las solicitudes de puntos de conexión a la red de transporte, los resultados de las últimas subastas, y otros indicadores, como la evolución de costes o los planes de inversión anunciados por grandes fondos y corporaciones, todo indica que el PNI-EC ha infravalorado claramente el potencial de la energía FV en España, quizá por haber mirado demasiado al pasado reciente para hacer su análisis prospectivo.

Hacia 2050, se supone que tanto las nucleares como los ciclos combinados deberían haber desaparecido de la escena, y que tanto la eólica como la FV deberían haber incrementado notablemente su potencia instalada. Un reciente estudio [Gutiérrez, 2022] ha analizado un hipotético escenario para dicho horizonte temporal, construido en base a la combinación más desfavorable de producción renovable y consumo, de acuerdo con los datos registrados en la última década. El estudio concluye que bastarían unos 250 GW de potencia renovable (dos terceras partes FV), para alimentar la demanda actual (250 TWh/año) más el consumo eléctrico que resultaría de la electrificación del transporte ligero (unos 65 TWh/año). Para que el balance horario demanda-generación fuese factible, serían necesarios solamente unos 400 GWh de almacenamiento (menor que el consumo de un día promedio), siempre que el recurso hidráulico se gestionase de forma óptima, tratando de minimizar las necesidades de almacenamiento del sistema, y no como se hace actualmente, es decir, pujando en el mercado mayorista al coste de oportunidad del gas. Dicho estudio señala asimismo que, con el parque generador descrito, habría un excedente anual de electricidad de unos 130 TWh, que podrían utilizarse para

producir hidrógeno “verde”, venderlo a los países vecinos a través de interconexiones, o incluso desalar agua.

El mencionado estudio también analiza los costes medios (LCOE), así como su sensibilidad a diversos factores, y concluye que, dependiendo sobre todo de la fracción de hidráulica que se pudiese gestionar, y de la previsible reducción de costes del almacenamiento en baterías, el intervalo de costes estaría entre 35-40 €/MWh, que palidecen frente a los casi 300 €/MWh del mercado ibérico de electricidad en la actualidad.

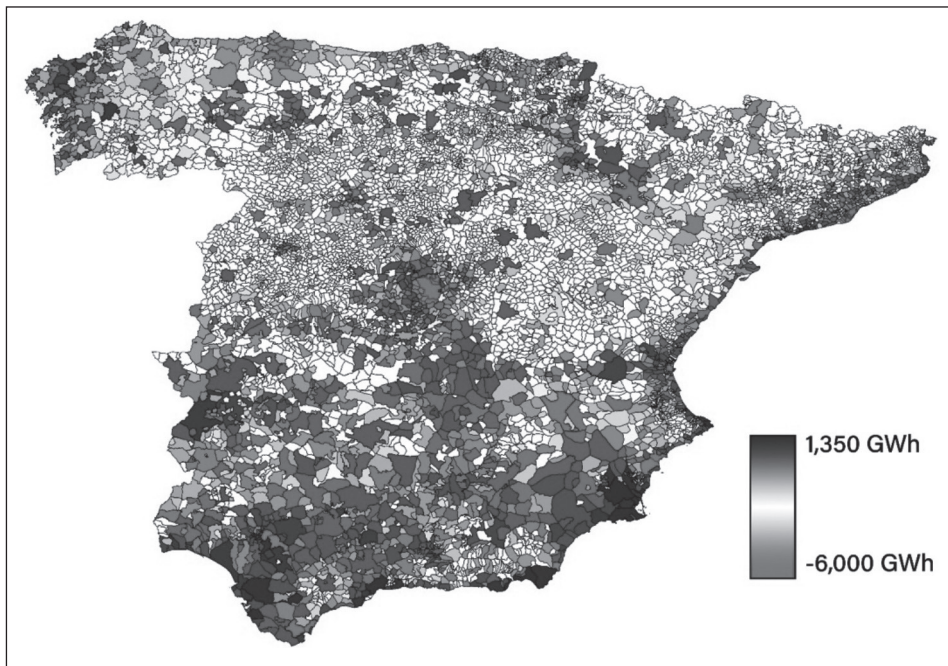
Podría cuestionarse legítimamente si España estaría en condiciones de acomodar en su territorio los 170 GW fotovoltaicos que serían necesarios en el escenario 100% renovable que se acaba de describir. La respuesta es afirmativa, puesto que dicha potencia requeriría aproximadamente 3.500 km² de superficie bruta (poco más que la provincia de Álava). Si tenemos en cuenta que España dispone de unos 60.000 km² de suelos no cultivables, de los que casi 20.000 km² corresponden a terrenos baldíos o improductivos (urbanos, carreteras, minas, vertederos, etc.), parece evidente que el espacio físico no debería suponer ningún problema, incluso sin tener que recurrir a superficies cultivables (como está ocurriendo ahora), ni tampoco a prados, pastizales o terrenos de matorral.

Otro estudio reciente ha analizado el potencial de las zonas urbanas para instalar FV sobre tejado [Gómez-Expósito, 2020]. La conclusión es que, utilizando solo el 45% de la superficie de las cubiertas de edificios, se dispondrían de unos 1.150 km², suficientes para instalar alrededor de 230 GW de FV sobre tejado. Esto supondría un 35% más de la FV que sería necesaria para lograr un sistema eléctrico 100% renovable. La Figura 2 muestra, a nivel municipal, el exceso (azul) o déficit (rojo) de energía anual, en un hipotético escenario en el que toda la electricidad proviniese de FV sobre tejado. Puede apreciarse que, salvo en las grandes ciudades, donde el consumo industrial es elevado, y la cornisa cantábrica, donde el recurso solar es menor, el resto de los municipios (más del 95%) serían teóricamente autosuficientes, desde el punto de vista eléctrico, solo con la producción FV sobre tejado (lógicamente a un coste más elevado que sobre suelo). Todo ello suponiendo, como se indicó anteriormente, que por lo menos la mitad de la energía hidroeléctrica se gestionase en beneficio del sistema, y que existiese una cantidad de almacenamiento como mínimo del orden del consumo medio diario.

Si queremos instalar en tres décadas toda esa potencia renovable adicional (unos 180 GW), deberían construirse en números redondos unos 6 GW de plantas renovables cada año, lo cual supone el doble de lo instalado en 2020 y es del mismo orden de lo subastado en 2021. A los precios actuales, ello implicaría una inversión anual bastante asumible, de entre 4.000 y 5.000 millones de euros, a los que habría que sumar en todo caso el coste de los sistemas de almacenamiento y de los refuerzos necesarios en las redes eléctricas.

Finalmente, conviene hacer notar que un futuro parque de 25 millones de vehículos eléctricos, a razón de unos 40 kWh por vehículo, daría un total de 1.000 GWh de almacenamiento. Sólo con que un tercio de dicha capacidad estuviese conectada a la red, y disponible para ser inyectada al sistema en caso necesario, se lograría disminuir sensiblemente las necesidades de almacenamiento adicional, y por tanto el coste.

FIGURA 2
MAPA PENINSULAR QUE MUESTRA EL DESCUADRE ANUAL ENTRE EL POTENCIAL DE GENERACIÓN FV SOBRE TEJADO DE CADA MUNICIPIO Y EL CONSUMO ELÉCTRICO ACTUAL DEL MISMO (EN ROJO LOS MUNICIPIOS DEFICITARIOS Y EN AZUL LOS EXCEDENTARIOS)



CONCLUSIONES

Amén de un aumento notable de la eficiencia en el uso de la energía, puesto que el vector energético inherente a las energías renovables es la electricidad, hoy día se considera que el objetivo de descarbonizar la economía pasa necesariamente por: 1) electrificar lo más posible el consumo energético; y 2) lograr que prácticamente toda la producción de electricidad sea renovable. Si actualmente sólo entre el 15 y el 25% de energía final consumida se hace en forma de electricidad, el objetivo sería incrementar dicho porcentaje hasta niveles del 80% o superiores, lo cual supone un gran desafío técnico y económico porque obligará a cambiar radicalmente casi todos los procesos productivos, así como los medios de transporte, empezando por el vehículo privado.

Este cambio de paradigma vendrá condicionado principalmente por el despliegue de las energías renovables, los necesarios sistemas de almacenamiento y, en menor medida, la digitalización de las infraestructuras energéticas. Las reflexiones y datos aportados en este artículo muestran meridianamente que, con la regulación adecuada, el sector industrial y financiero español tiene sobrada capacidad para lograr que nuestro país disponga de un sistema eléctrico sostenible hacia 2050, incluyendo el transporte terrestre, como

paso previo a la descarbonización del resto de sectores (transporte aéreo, marítimo e industria). No obstante, los esfuerzos de los últimos años para acelerar el cambio de modelo energético no son suficientes. Sería necesario triplicar las inversiones, respecto a los niveles actuales, para conseguir dichos objetivos.

REFERENCIAS

- COMISIÓN EUROPEA (2019). Directiva UE 2019/944 y Reglamento 2019/943, Versión en línea: <https://www.boe.es/doue/2019/158/L00125-00199.pdf>
- L. DELANNOY (2021), ET. AL, Peak oil and the low-carbon energy transition: A net-energy perspective, *Applied Energy* 304 (2021), 117843.
- A. GÓMEZ-EXPÓSITO, A. ARCOS-VARGAS, F. GUTIÉRREZ (2020). On the potential contribution of rooftop PV to a sustainable electricity mix: The case of Spain, *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, 132, 110074.
- F. GUTIÉRREZ, A. ARCOS-VARGAS, A. GÓMEZ-EXPÓSITO (2022). Robustness of electricity systems with nearly 100% share of renewables: A worst-case study, *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, 155, 111932.
- IEA (2019). International Energy Agency, Market Report Series: Renewables 2019. Versión en línea: <https://webstore.iea.org/renewables-2019>
- IRENA (2019). Future of Solar Photovoltaic: Deployment, investment, technology, grid integration and socio-economic aspects. Versión en línea: https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2019/Nov/IRENA_Future_of_Solar_PV_2019.pdf
- MITECO (2019). Plan Nacional Integrado de Energía y Clima 2021-30. Versión en línea: https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/spain_draftnecp.pdf
- MIT (2015). Solar Photovoltaic Technologies, *Energy Futures*, MIT. Versión en línea: <http://energy.mit.edu/news/solar-photovoltaic-technologies/>
- NREL (2019). Report: Bifacial PV System Performance. Separating Fact from fiction, Versión en línea: <https://www.nrel.gov/docs/fy19osti/74090.pdf>
- RED ELÉCTRICA (2020). Informe del sistema eléctrico español 2019. Versión en línea: https://www.ree.es/sites/default/files/11_PUBLICACIONES/Documentos/InformesSistemaElectrico/2019/inf_sis_elec_ree_2019_v2.pdf
- H. RITCHIE, M. ROSER (2018)., *Energy* (OurWorldInData.org). Versión en línea: <https://ourworldindata.org/energy>
- J. SEVILLANO (2021). <https://javiersevillano.es/DeficitTarifa.htm>
- V. SMIL (2017). *Energy and civilization: a history*, Cambridge (MA), USA, The MIT Press.
- STATISTA (2021). <https://es.statista.com/estadisticas/60839/inversion-mundial-en-energia-renovable-por-sector/#statisticContainer>

METRO DE SEVILLA: DESDE SU GESTACIÓN HASTA SU PRETENDIDA SUSTITUCIÓN POR UNA RED DE TRANVÍAS

*Conferencia virtual pronunciada por el
Excmo. Sr. D. José Luis de Justo Alpañés,
presidente de la Real Academia Sevillana de Ciencias,
al alumnado del máster de Ingeniería de Caminos,
el día 11 de febrero de 2021*

1. GESTACIÓN DEL METRO

1.1 Plan decenal del Ayuntamiento de Sevilla de 1968

Incorpora la idea del Director del Servicio Municipal de Transportes, Plácido Álvarez Fidalgo, de construir un metro a partir de la mitad de los años 70, como se viene haciendo en Madrid y Barcelona, con colaboración estatal.

1.2. Anteproyecto del Ferrocarril Metropolitano de Sevilla de 1969

Combina un metro superficial construido con pantallas empotradas en la marga, en la zona donde hay anchas avenidas, y un metro profundo, donde no las hay; a esto obliga la presencia de una gruesa capa de zahorras por encima de la marga, conectada con la dársena del Guadalquivir, en la que no se podían construir túneles con las técnicas de la época (Fig. 1).

El Pleno del Ayuntamiento aprueba este anteproyecto, con tres líneas, y lo eleva al Ministerio de Obras Públicas en el mismo año.

1.3. Ley 37/1975, de 31 de octubre, sobre construcción y explotación del Metro de Sevilla

Aprobada por Las Cortes españolas en 1975 y nunca derogada.

Correrá a cargo del Estado la construcción de la infraestructura de la red de ferrocarriles prevista en el Plan y en sus modificaciones, si las hubiere.

A estos efectos se entenderán comprendidos en la infraestructura de la red las obras de explotación, túneles, estaciones y accesos con sus servicios mecánicos, los edificios

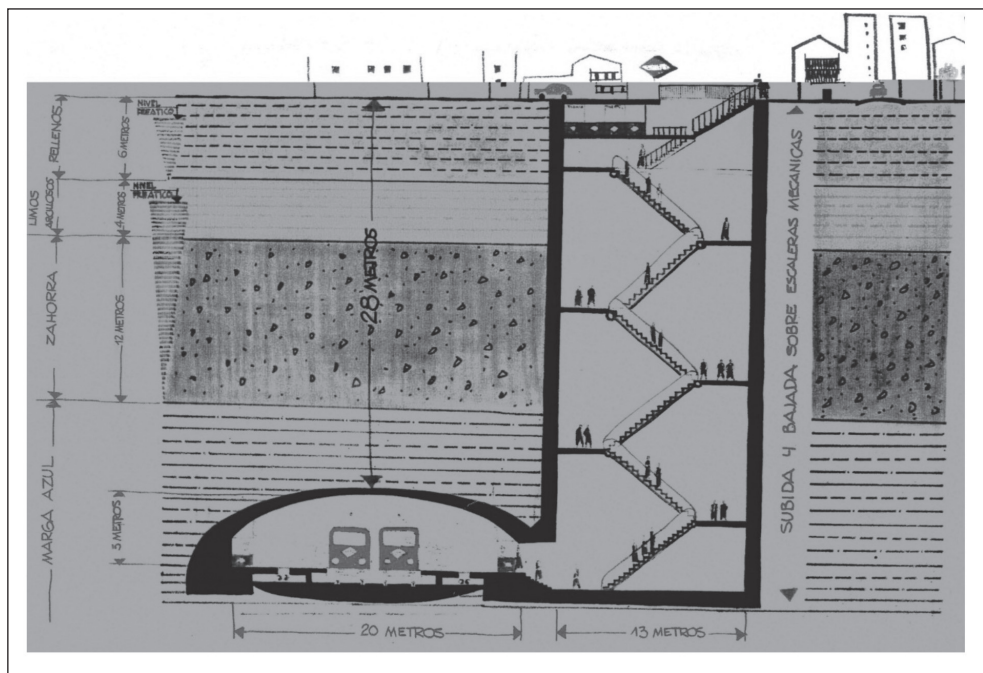
de cocheras, talleres y subestaciones y las instalaciones de ventilación e iluminación, para todo lo cual se aprobarán por el Ministerio de Obras Públicas los proyectos correspondientes.

El Ayuntamiento quedará obligado a aportar la vía, el material móvil, la electrificación, señalización, comunicaciones, puesto de mando, instalación de cocheras y talleres y subestaciones, y los demás elementos necesarios a la explotación del servicio.

1.4. Proyecto de Planeamiento de la Red de Metro de Sevilla y de Infraestructura de la línea 1

La línea 1, La Plata-Pino Montano tiene como objetivo fundamental asegurar el acceso al casco antiguo, que se había consolidado como centro comercial.

FIGURA 1
ESTACIÓN DEL METRO PROFUNDO Y CORTE TÍPICO DEL TERRENO EN SEVILLA
EN EL ANTEPROYECTO



1.5. Concursos-subastas para la línea 1

Adjudicados entre La Plata y Plaza Nueva entre 1976 y 1979 (Figs. 2 a 4).

FIGURA 2
SECTOR LA PLATA-ALAMEDA DE LA LÍNEA 1 DEL METRO DE LOS AÑOS 70

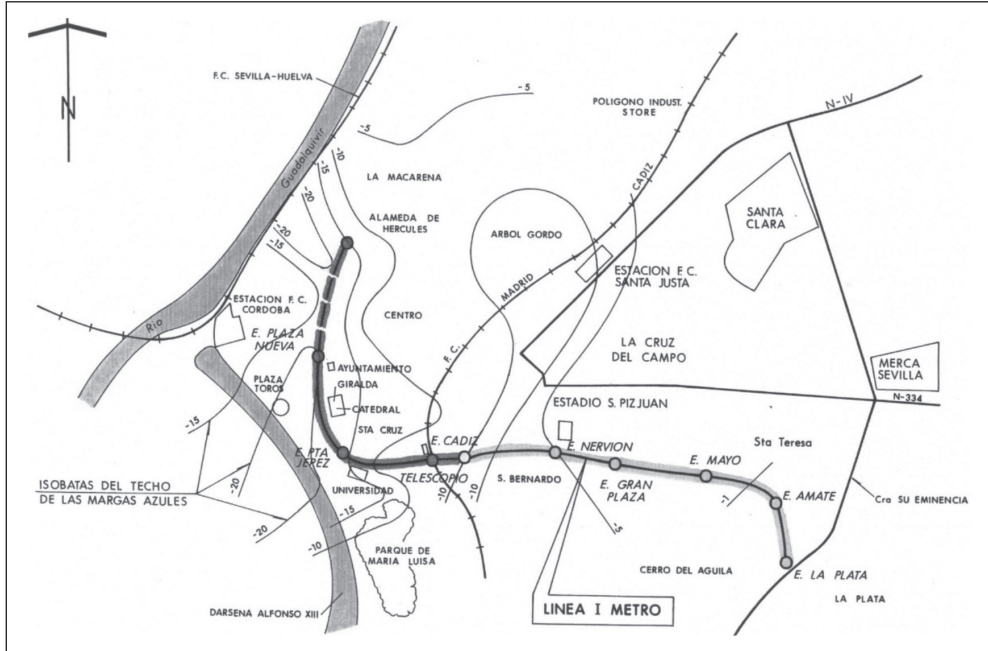


FIGURA 3
PERFIL LONGITUDINAL DE LA LÍNEA 1 DE LA PLATA A TELESCOPIO

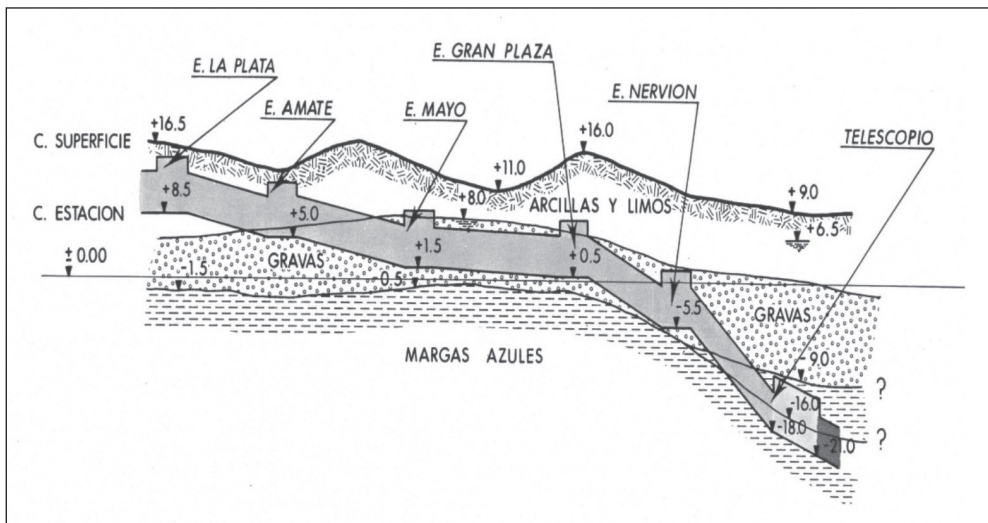
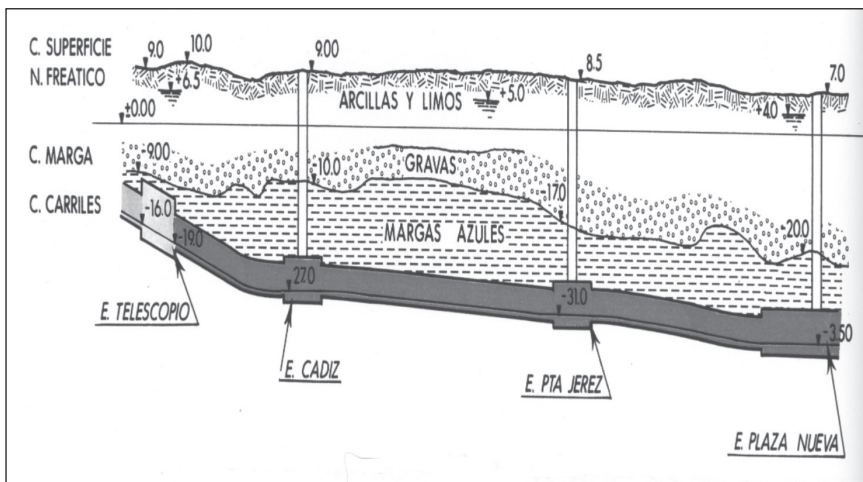
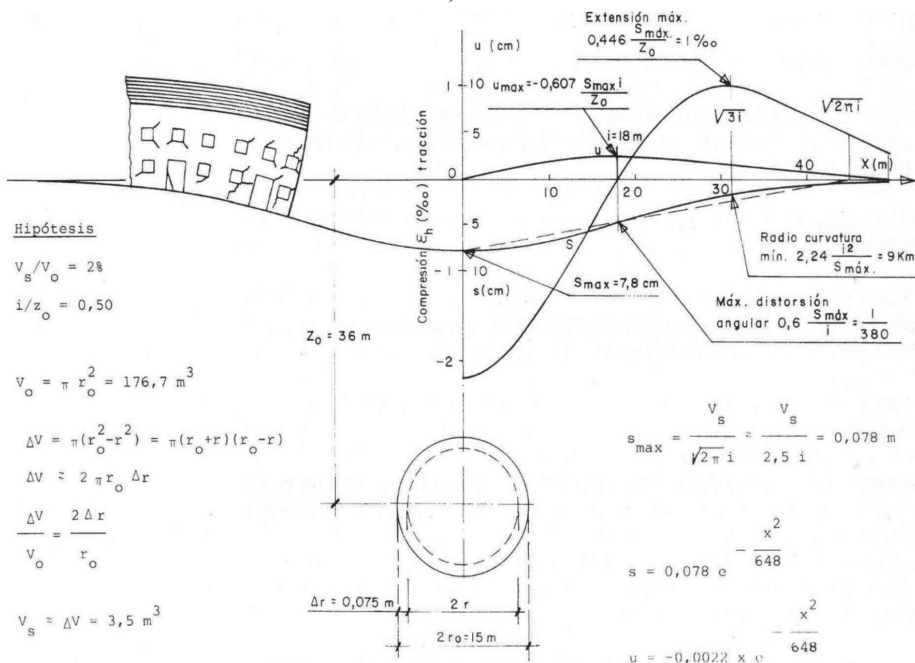


FIGURA 4
PERFIL LONGITUDINAL DE LA LÍNEA 1 DE TELESCOPIO A PLAZA NUEVA



La Fig. 5 indica, gráficamente, por qué la excavación de un túnel (circular en el caso de la Fig.) puede ocasionar daños en edificios.

FIGURA 5
EFFECTO DE LA CONSTRUCCIÓN DE UN TÚNEL CIRCULAR EN EDIFICIOS ANTIGUOS Y NO BIEN CIMENTADOS, EN UN SUELO ELÁSTICO



1.6. Construcción de la línea 1

La Fig. 6 muestra la construcción del metro en la zona de Eduardo dato, mediante la técnica de las pantallas de hormigón armado.

La contracción del orificio circular, se conoce como pérdida de suelo, V_s . La relación entre la pérdida de suelo y el volumen de la perforación, V_s/V_0 , es un índice inverso de la calidad de la perforación. La relación entre la distancia al punto de inflexión de la cubeta de asientos, o al máximo de las deformaciones horizontales i , y la profundidad de la perforación, i/z_0 , es del orden de 0,5 en un terreno elástico. Los datos de la Fig. 5 reflejan el orden de magnitud de los desplazamientos para los métodos de excavación utilizados en una estación profunda en Sevilla.

FIGURA 6
CONSTRUCCIÓN DEL METRO MEDIANTE LA TÉCNICA DE LAS PANTALLAS
DE HORMIGÓN ARMADO

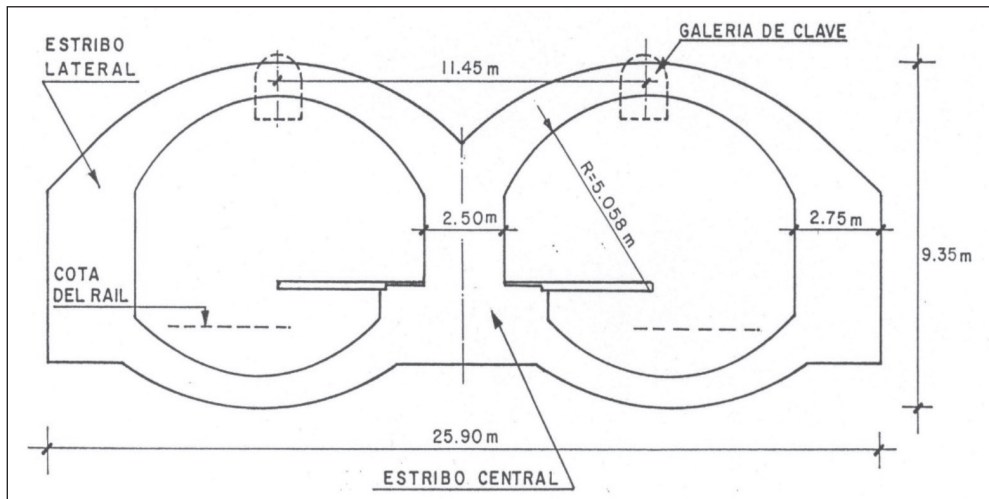


La Fig. 7 muestra la construcción de una estación de metro profunda con el Nuevo Método Austriaco. Se comienza con la construcción de las galerías con la ayuda de cerchas y refuerzos. A continuación, se lanzan las costillas (excavación y hormigonado), se excava y hormigona la contrabóveda.

2. INCIDENTES DURANTE LA CONSTRUCCIÓN DEL METRO DE LOS AÑOS 70-80

La construcción de los tramos de pantalla La Plata-Portaceli y del Telescopio transcurren sin incidentes, salvo algunos asientos debidos a las prisas ante el comienzo del Campeonato de Fútbol de 1982.

FIGURA 7
CONSTRUCCIÓN DE UNA ESTACIÓN PROFUNDA CON EL NUEVO MÉTODO AUSTRIACO



Incidentes durante la construcción de las tres estaciones profundas en los años 1981 a 1983:

- Plaza Nueva, desplome de la estatua de San Fernando producido por filtración a través de junta defectuosa del pozo de acceso. Ningún daño a edificios.
- Puerta de Jerez, socavón de 5,3 m de diámetro con la misma causa que en Plaza Nueva. Daños a la Casa de los Guardiola y al edificio de la Equitativa.
- San Bernardo, numerosas grietas en la estación de RENFE.

2.1. Suspensión de las obras del metro de los años 70

En febrero de 1983, los desperfectos ocasionados en el edificio de La Equitativa desencadenan una campaña de prensa contraria al metro de Sevilla.

El 4 de marzo de 1983, la Comisión Asesora creada por el Ayuntamiento de Sevilla acuerda la terminación de las estaciones y la paralización total de las obras en 1984.

Sorprende un poco la rapidez con que se toma esta decisión. Tal vez la preocupación del Ayuntamiento por los gastos que tendría que afrontar por la ley del metro.

Contribuye a esto una campaña de prensa en contra del Metro de Sevilla (Fig. 8).

Los problemas del metro de los años 70 surgen en las estaciones profundas, construidas con el nuevo método austriaco. Hoy en día dicha construcción se tendría que hacer, en general, con tuneladora (que ya estaban desarrollados desde 1945-1950).

En cualquier caso, los edificios dañados se han reparado sin mayores problemas.

FIGURA 8
LO QUE NO DEBE OCURRIR. UNA CAMPAÑA DE PRENSA CUESTIONANDO
EL METRO DE SEVILLA



2.2. Posible afectación de los monumentos sevillanos

En la campaña de prensa desencadenada con anterioridad a la suspensión se habló de la posible afectación de diversos monumentos de Sevilla.

Los siguientes edificios estaban suficientemente alejados de la cubeta de asientos como para que hubiera sido imposible que sufrieran daños: la Catedral, La Giralda, La Torre del Oro, la Plaza de Toros, la Torre de la Plata, el Palacio de San Telmo, el Archivo de Indias, el Ayuntamiento (de hecho, no sufrió daños a pesar de la estación de Plaza Nueva) y el Alcázar.

Podrían haber sufrido pequeños asientos, pero no daños la Iglesia del Hospital de la Caridad, el Arco del Postigo, y la Iglesia de San Bernardo.

Podrían haber sufrido daños leves el Palacio de Justicia, la Universidad, el Hotel Alfonso XIII y el Hospital de la Caridad (sin la Iglesia).

3. EL PLAN INTERMODAL DE TRANSPORTE DEL ÁREA METROPOLITANA DE SEVILLA

El dinero ya comprometido para el metro de Sevilla se destina a otros fines, y no se hace nada hasta 1994, en que la Junta de Andalucía encarga el estudio de lo que sería

el Plan Intermodal de Transporte del Área Metropolitana de Sevilla, cuyas conclusiones son erróneas, y pretende descartar el metro a toda costa. El documento de febrero de 1995 cuestiona la conveniencia de proseguir con la construcción de la línea 1, a pesar de que debido a los cambios tecnológicos producidos no tendría desde el punto de vista ingenieril ningún inconveniente para ser realizado, pudiendo, incluso, en determinados tramos, discurrir por un trazado más superficial, excepto por debajo del Casco Antiguo, donde la existencia de restos arqueológicos obligaría a ir a profundidades similares a las proyectadas.

Y continúa la cita: los inconvenientes radican en que los corredores cuyas líneas de movilidad de los habitantes de la aglomeración tienen una traza más similar a la de la infraestructura proyectada no llegan a alcanzar más de la quinta parte de la capacidad máxima de transporte de un medio como éste, estimada en 40.000 pasajeros por sentido de circulación. Sin embargo, la línea I del actual metro de Sevilla ha alcanzado casi 48.000 viajeros por día en 2017.

4. PLAN DE TRANSPORTE METROPOLITANO DEL ÁREA DE SEVILLA: PLAN DE MOVILIDAD SOSTENIBLE

Afortunadamente, la Junta de Andalucía encargó otro informe con posterioridad, mucho más racional. A continuación, exponemos las conclusiones de este informe en febrero de 2006.

4.1. Modelo «actual» de movilidad metropolitana

El medio de transporte más empleado por los sevillanos es el automóvil (69%) seguido por el desplazamiento a pie (44%) y el autobús (37%). bicicleta (16%)

Insostenible ambientalmente (ruido, contaminación).

4.2. Soluciones

4.2.1. Ventajas del transporte público

- Reducción de la emisión de contaminantes a la atmósfera.
- Transporte público emite 150 veces menos CO₂ por viajero y kilómetro que el privado.
- El usuario de transporte público ocupa 100 veces menos espacio.
- El transporte público es 20 veces más seguro.
- Tendencia al uso de vehículos menos contaminantes (híbridos y eléctricos)
- ¡La alternativa es el metro con sus cuatro líneas (Fig. 9)!

5. LA LÍNEA 1 DEL METRO ACTUAL

Combina el sistema de pantalla en tramos superficiales con un túnel semi-profundo (ejecutado con tuneladora), a través de arenas o zahorras.

La Fig. 10 muestra el perfil del terreno en el trazado de la línea 1.

La tuneladora utilizada fue la EPB (Fig. 11).

FIGURA 9
DISEÑO DEL METRO APROBADO POR LA JUNTA EN 2011. FUENTE: JUNTA DE ANDALUCÍA. GRÁFICO: DEPARTAMENTO DE TOPOGRAFÍA



La Fig. 12 muestra la tuneladora en el interior del túnel

5.1. Desarrollo de las obras de la línea 1

Tras 18 años de parada, en el año 2002 comenzaron de nuevo las obras. Hay que destacar a la Consejera de Obras Públicas y Transportes entre 2000 y 2008, Concepción Gutiérrez del Castillo, en la gestión y construcción de la línea 1. El 2 de abril de 2009

FIGURA 10
PERFIL ENTRE LAS ESTACIONES DE PABLO DE OLAVIDE Y BLAS INFANTE
(A. JARAMILLO)

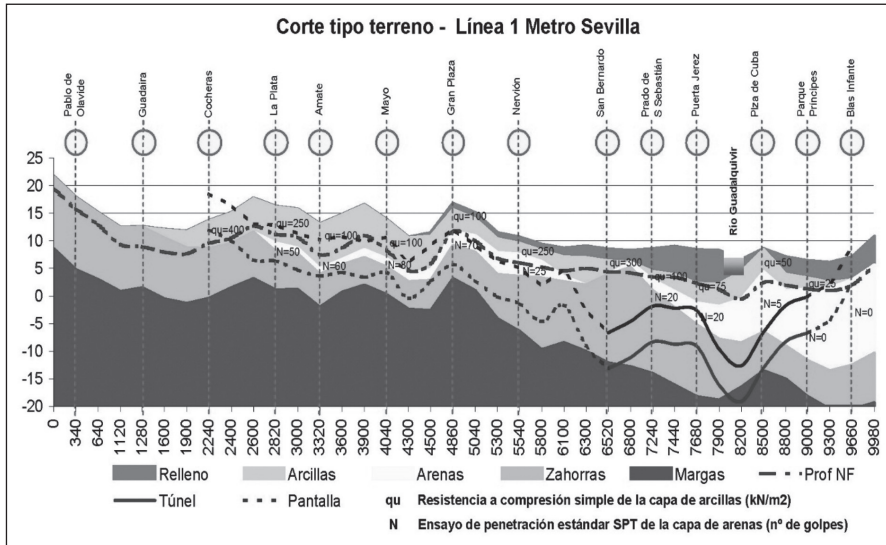
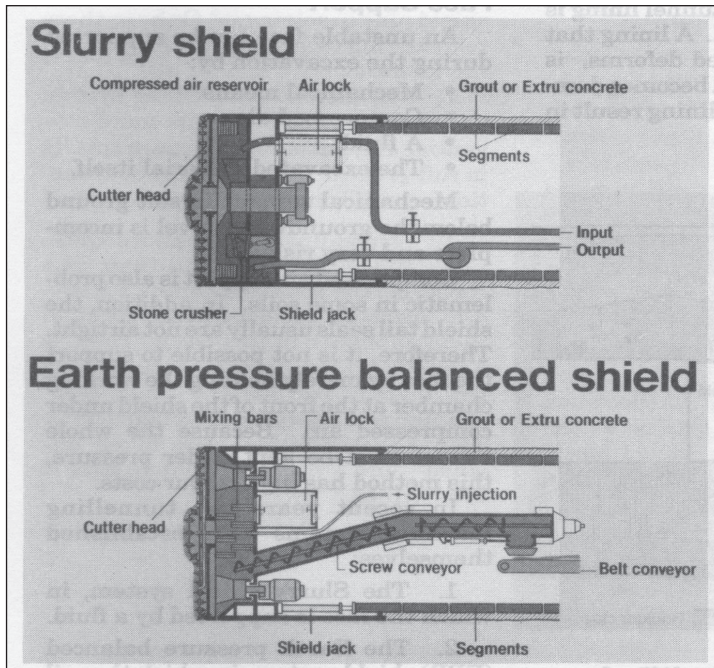


FIGURA 11
COMPARACIÓN ENTRE LAS TUNELADORAS DE LECHADA Y DE EQUILIBRIO
DE PRESIÓN DE TIERRAS



se inaugura la línea I del nuevo metro de Sevilla sin mayores problemas. Entretanto ciudades como Valencia, con un área metropolitana semejante a la de Sevilla y con 9 líneas, y Bilbao (con un área mucho menor), que empezaron mucho más tarde, tienen sus metros terminados.

6. PROMESAS

Según la Asociación Sevillasemueve, en enero de 2010, la entonces Consejera de Obras Públicas y Transportes, Rosa Aguilar, del anterior gobierno de la Junta de Andalucía afirmó que los proyectos de las líneas del metro de Sevilla debían salir a exposición pública a lo largo de 2010 para que las obras comenzaran antes de final de año o a principios de 2011.

7. EL FUTURO DEL METRO DE SEVILLA

La Junta estima la inversión necesaria para las líneas 2, 3 y 4 en 3706 millones de euros. Nadie pide que se inicien las tres conjuntamente.

En septiembre de 2012, el Diario El Mundo citaba unas declaraciones del entonces Presidente de La Junta de Andalucía: La única certeza ahora es que los sevillanos son los únicos que tienen metro. Granada y Málaga también lo tendrán. Granada porque está abierta en canal y tiene la financiación garantizada a través del Banco Europeo de Inversiones. Málaga porque lo tiene en obras avanzadas y que, en cuanto a las nuevas líneas del metro de Sevilla, el exPresidente no descartó que en el futuro se retomem, si existe posibilidad presupuestaria, y si hay consenso con el Gobierno central para que se comprometa con su financiación.

Sin embargo, la línea I construida es un metro que enlaza Sevilla con su área metropolitana, el Aljarafe y Dos Hermanas, pero en absoluto es un metro que solucione para nada el problema de la ciudad. Este cometido se irá alcanzando a medida que se vayan terminando sus tres restantes líneas. ¿Con tanta ayuda que ha llegado de la Unión Europea, no se ha podido pedir financiación semejante para el metro de Sevilla?

Según una información de Ana Sánchez Ameneiro, periodista senior del Diario de Sevilla, el Gobierno andaluz anterior no ha dudado en construir en solitario otros transportes ferroviarios (metros y tranvías) en municipios andaluces con mucho menos peso en la población que Sevilla y su área metropolitana, y con una inversión global que supera los 935 millones de euros con escasa o nula rentabilidad. Es el caso de los tranvías de Vélez-Málaga y Jaén, el tren tranvía de Bahía de Cádiz, y el Metro de Granada. En Sevilla, su inversión más reciente ha sido el tranvía de Alcalá de Guadaíra que va a conectar con la línea 1 de Sevilla.

El coste de las dos líneas del metro de Málaga se irá por encima de los 900 millones de euros.

8. LA CONTAMINACIÓN Y EL METRO

Tal vez debido a la construcción de la línea 1, no se vuelva a hablar de temas de contaminación. Sin embargo, conviene citar un reciente artículo de El Periódico de Cataluña: “La calidad del aire de la ciudad de Barcelona empeora durante las huelgas del transporte público, lo que señala la importancia de este medio para combatir la contaminación atmosférica». Esta es la principal conclusión de un estudio que se ha publicado en la revista Science of the total Environment. Cuando hay alteraciones en el transporte público, aumenta el uso del vehículo privado y esto incrementa los niveles de contaminación del aire. De entre los diferentes modos de transporte, el que más incidencia tiene sobre la calidad del aire es el metro. Durante los días en que se registraron paros en el servicio, la contaminación aumentó de media entre un 8% de PM10 (partículas sólidas < 10 μm) y un 48% de NO”.

9. LA SEVILLA DE LOS TRANVÍAS

Porque ahora han surgido nuevos adversarios del metro de Sevilla desde dentro de la ciudad. No es la primera vez, Sevilla es la ciudad de las ocasiones perdidas: tal sucedió con el Canal Sevilla-Bonanza, con el riego de la Vega de Carmona por las aguas del canal Genil-Cabra, que hoy fertilizan tierras cordobesas o con el dragado del Guadalquivir. Han descubierto que el metro puede sustituirse por tranvías mucho más baratos, no contaminantes y para los que inventan una velocidad comercial de 22 km/hora, cuando esta velocidad es de 10 km/hora, si no se quiere erradicar todo resto del tráfico de superficie.

Y es que esto suena a “déja vu”. Cuando yo era niño el tráfico público en Sevilla consistía en una red de tranvías (Fig. 12).

FIGURA 12
TRANVÍAS EN SEVILLA CRUZANDO EL PUENTE DE TRIANA



Una prueba de su eficacia es que cuando yo tenía que ir al colegio, desde la calle Betis a Sor Ángela de la Cruz siempre lo hacía andando, pues no había combinaciones adecuadas de tranvías.

Del tranvía se criticaba su falta de flexibilidad, lentitud en la frenada y deterioro de las calles. Esto condujo a que, afortunadamente, se sustituyera la red de tranvías por una de autobuses, mucho más flexibles y rápidos en la frenada. La ciudad acogió este cambio con un suspiro de alivio. ¿Por qué tranvías y no autobuses, que pronto van a eléctricos, y que no suponen un tapón para una futura red de metro? Además, una red superficial no puede tener las interconexiones necesarias.

Con prioridad semafórica, el tranvía moderno podría alcanzar una velocidad media 10 km/h, frente a 30 km/h de la línea 1 del metro de Sevilla. Además, la prioridad semafórica hunde el tráfico transversal (Fig. 13).

FIGURA 13
TRANVÍA ACTUAL EN LA AVDA. DE LA CONSTITUCIÓN



10. GESTIÓN Y AMORTIZACIÓN DE LA RED DE METRO DE SEVILLA

La financiación de los metros de Sevilla y Málaga pasó por pedir dinero al Banco Europeo de Inversiones y adelantos a las empresas adjudicatarias que tienen sus contratos hasta 2040 y 2042 respectivamente. En el metro de Granada la gestión es directa. Esto supone vencimientos anuales de 56 millones de euros para el metro de Sevilla, 70 para el de Málaga y 33 para el de Granada, con un total de 158 millones anuales.

11. CONCLUSIONES

El metro es una obra fundamental para Sevilla por razones ecológicas (mínima contaminación) y de tráfico interior (Sevilla se ahoga). En esta obra Sevilla se juega su prestigio y su futuro.

Para ello es necesario ejecutar las 4 líneas del metro. Los proyectos de las líneas 2, 3 y 4 están terminados hace años, aunque ahora se van a reconsiderar.

El metro de Sevilla se ha quedado fuera del plan de transportes diseñado por la Junta anterior en el que se contemplaban las obras que se van a desarrollar con el horizonte de 2020.

La Expo del 92, que sólo se podría haber celebrado en Sevilla por su monumentalidad y relaciones con América, supuso un desarrollo fundamental no sólo para Sevilla, sino que para toda Andalucía y el resto de España, por sus autovías y TAV que se fue extendiendo a más y más ciudades, etc. Sin embargo, a partir del 92 Sevilla se ha convertido en una ciudad maldita a la que se niegan las inversiones y hasta la navegabilidad de su río.

12. REFERENCIAS

MENDAÑA, F. y FERNÁNDEZ MARTÍNEZ, R. (2011). *Hidroescudos y tuneladoras E.P.B. Campos de utilización*. Revista de Obras Públicas nº 3.525. Año 158, octubre 2011

ALFONSO X, EL REY DE CASTILLA Y EL HOMBRE DE SU TIEMPO, 1221/1252-1284

*Conferencia pronunciada por
el profesor Manuel García Fernández,
catedrático de Historia Medieval de la Universidad de Sevilla,
en el acto conmemorativo del octavo centenario
del nacimiento de Alfonso X,
el 17 noviembre de 2021.*

Alfonso X, el Sabio, rey de Castilla y León, fue un monarca de una personalidad indiscutible para la Historia de España y también de Europa. Sin duda el más universal de nuestros monarcas medievales. Las muchas enterezas instructivas y también algunas otras vacilaciones políticas que caracterizaron su vida (1221-1284) y sobre todo su reinado (1252-1284) reflejaron desde luego los éxitos y también los fracasos del rey no sólo en el ámbito de las relaciones públicas del poder, las propias de un soberano del poderoso reino de Castilla y León, sino también las de un hombre ciertamente sabio para su época, el siglo XIII, en los aspectos más domésticos de su vida familiar y privada.

Culto y exquisito, protector de poetas, intelectuales, científicos, juristas y artistas europeos, generoso con sus amigos y sus privados, pero riguroso con sus enemigos, Alfonso X fue siempre un personaje controvertido, caracterizado además por una evidente liberalidad, no exenta de cierta soberbia y jactancia, que algunos contemporáneos reconocieron ahora con admiración ahora con desdén.

El padre Juan de Mariana desde 1601 consideró al Alfonso X como un hombre erudito y sabio, desde luego; pero también arrogante, petulante y *“aborrecido por su pueblo” como rey. A pesar de ser de “condición mansa, ánimo grande, más deseoso de gloria que de deleites [...], dado al sosiego de las letras”, fue un monarca “de maravillosa inconstancia en su manera de proceder”*. Para redondear la imagen displicente del soberano con este célebre párrafo de enorme fortuna historiográfica *“Don Alfonso Rey de Castilla era persona de alto ingenio, pero poco recatado, sus orejas soberbias, su lengua desenfrenada, más a propósito para las letras que para el gobierno de los vasallos: contemplaba el cielo y miraba las estrellas; mas en el entretanto perdió la tierra y los reinos”*.

En cualquier caso, la “leyenda negra” sobre la vida privada del rey Alfonso X no empañaría nunca en la historiografía alfonsí de todos los tiempos la grandeza de su obra regia en su conjunto, y sobre todo las brillantes empresas literarias, artísticas y científicas que alentó durante su reinado y que incluso sus enemigos reconocieron en toda Europa.

Luces y sombras, públicas y privadas del reinado de Alfonso X, las propias de un monarca sabio de su tiempo. Un rey de actuación política tal vez discutible, incluso desatinada en el reino de Castilla y en Europa; matizada sin duda por fracasos importantes y sonados como el llamado “fecho del Imperio”, el célebre problema mudéjar, y sobre todo en el enfrenamiento con la nobleza y la crisis familiar sucesoria. Y sin embargo, un hombre de una imponente obra legislativa, literaria, humanística y científica, si bien al servicio y justificación del poder regio moderno, muy adelantado a su propio tiempo.

Alfonso X era hijo del monarca Fernando III (1201-1252), rey de Castilla (desde 1217) y de León (desde 1230) y de la princesa alemana del linaje de los Staufen Beatriz de Suabia (1202-1235), prima hermana del emperador de romanos Federico II. El rey Sabio siempre manifestaría en sus escritos el orgullo por la estirpe de sus progenitores, especialmente de su madre.

La admiración del rey de Castilla y León por Fernando III y Beatriz de Suabia resulta evidente en algunos célebres textos alfonsíes, como en el curioso libro escrito en Sevilla llamado *Setenario*, que abunda en las virtudes política, éticas y morales de sus padres y, por supuesto, también en la *Primera Crónica General de España* al narrar la conquista de Sevilla en 1248.

El rey Sabio resaltaría siempre como modelo a seguir la labor de gobierno de su antecesor que intentará continuar durante su reinado, según el encargo que recibió de su padre en el lecho de muerte en el Alcázar de Sevilla: “*Fijo, rico fincas de tierras e de muchos buenos vasallos, mas que rey que en la cristiandad sea. Punna en fazer el bien et ser bueno.... Señor te dexo de toda la tierra de la mar acá, que los moros del rey don Rodrigo de España ganado ovieron, et en tu señorío finca toda; la una conquerida, la otra tributada. Sy la en este estado en que te la yo dexo la sopieres guardar, eres tan buen rey como yo; et si ganares por ti más, eres mejor que yo; et si desto menguas, non eres tan bueno como yo*”.

Alfonso X alabaría de su padre la potenciación de la unidad e institucionalización del reino de Castilla y León como un espacio político moderno, coherente, pacificado y fuerte, entono al liderazgo del monarca y, lógicamente la finalización del proceso conquistador en al-Andalus.

Pese a que Beatriz de Suabia fue reina de Castilla tan sólo desde 1219-1235 y que su hijo primogénito el infante don Alfonso la conoció en su infancia y adolescencia –tenía 14 años cuando murió su madre– en el *Setenario* nos descubre el rey Sabio su amor por su madre y sobre todo la admiración por sus virtudes femeninas y cristianas y la de su poderoso linaje imperial alemán.

Alfonso X nació en el alcázar de la ciudad de Toledo el 23 de noviembre de 1221, festividad de San Clemente. Por influencia sin duda de su abuela paterna, Berenguela, se le impuso en nombre de su abuelo Alfonso IX de León y también el de su bisabuelo Alfonso VIII de Castilla, de recordaba memoria como vencedor de Las Navas de Tolosa en 1212 frente a los almohades de Al-Andalus.

En la formación de la casa del príncipe heredero Berenguela participó eficazmente. Pues como era costumbre en la época, Alfonso fue confiado a los cuidados de una nodriza, Urraca Pérez, casada con el noble vallisoletano García Álvarez, quienes en

gratitud recibieron de Fernando III en 1231, a los diez años del nacimiento del infante, heredades en Valladolid.

El comportamiento de esta mujer debió ser ejemplar y muy del agrado de la reina abuela y de los padres del príncipe. Pues, efectivamente, el 21 de marzo de 1222 en la corte, que se encontraba en la ciudad de Burgos, el niño Alfonso, en alto y en los brazos de su nodriza, recibió en la catedral el solemne juramento personal como heredero de los nobles, las altas jerarquías eclesiásticas y de los procuradores de las ciudades del reino. Toda una simbología del nuevo poder regio que después Alfonso X reglamentaría en *Las Partidas*.

Cumplido el año y siguiendo con la costumbre de la monarquía castellano leonesa, por indicación una vez más de la reina abuela Berenguela, la crianza del heredero se encomendó a unos ayos. Los elegidos fueron García Fernández de Villamayor, mayor-domo de la reina Berenguela, casado en segunda nupcias con Mayor Arias del linaje gallego de los Limia. Entre sus propiedades burgalesas y gallegas trascurriría la infancia de Alfonso X. El rey Sabio siempre reconoció con gratitud y cariño aquellos primeros años de su vida, premiando a sus ayos y a sus descendientes con heredades en el Repartimiento de Sevilla en 1252.

Pero fue en la corte de sus padres, donde Alfonso recibiría una educación esmerada y exquisita de parte de algunos instructores de los mismos ya fuesen judíos, musulmanes o cristianos. Allí aprendería el amor por las escrituras antiguas y los libros, allí desarrolló su pasión por conocer la astronomía y las estrellas del cielo, su afición por las leyes, la música, la poesía y las ciencias naturales. Saberes que el joven príncipe seleccionaría para sustentar sus poderes regios en el reino de Castilla y en Europa.

Muy pronto fue el infante incorporado a las tareas directas de gobierno por Fernando III, tal vez ya a finales de 1240 con diecinueve años. Desde entonces y hasta su proclamación como rey de Castilla en Sevilla el 1 de junio de 1252 estos años fueron, sin duda, los más felices de su vida, a la sombra de su padre a quien siempre tuvo como modelo, siendo incluso su alférez real en 1242.

Ahora bien fue en el cerco y conquista de la Sevilla andalusí, iniciado en agosto de 1247, donde el infante desarrollaría todas sus instrucciones políticas como futuro monarca. Pues requerido por su padre, acudió Alfonso desde Castilla, donde estaba por asuntos personales, con tropas de refresco y víveres para apretar el cerco de la ciudad a comienzos de 1248, instalándose en la zona palaciega de la Buhaira (la actual Huerta del rey).

Junto a Fernando III, por entonces ya definitivamente enfermo de hidropesía y sin curación posible, su participación en las negociaciones de rendición de la capital almohade con las autoridades islámicas de la ciudad fue decisiva. No sería una casualidad, por tanto, que Sevilla se entregase al monarca castellano el 23 de noviembre de 1248, festividad de San Clemente y vigésimo séptimo cumpleaños del infante don Alfonso.

Un mes más tarde don Alfonso, testigo y sujeto activo de los acontecimientos, acompañó a su padre en la entrada solemne a la ciudad, una vez vaciada de moros, era el día de la traslación de los restos del arzobispo San Isidoro de Sevilla a la ciudad de León en 1063. De todo ello se hace eco la *Primera Crónica General*; e incluso las crónicas

posteriores del siglo XIV, como la del obispo de Burgos Gonzalo de Hinojosa, quien destaca el interés del heredero por mantener en pie el alminar y la mezquita mayor de Sevilla que los moros sevillanos querían derribar: “*que si una teja derribasen della, que por so degollaría cuantos moros avía en Sevilla*”. Fruto sin duda de la fascinación y admiración por Sevilla de don Alfonso como recogería más tarde en el libro Setenario, redactado en la misma ciudad de Sevilla.

En el ámbito privado, el infante abandonó pronto Sevilla para acudir a Valladolid a sus propios esponsales, el 29 de enero de 1249, con Violante de Aragón, hija de Jaime I y de su esposa Violante de Hungría. La infanta aragonesa era mucho más joven que el monarca, casi una niña de poco más de doce o trece años; por su parte don Alfonso es un joven maduro de veintiocho años que contaba además con una larga soltería no exenta de relaciones amorosas con algunas damas castellanas bien conocidas por la fuentes de su época y con algunos bastados.

El 30 de mayo al caer la tarde murió Fernando III en el antiguo alcázar hispalense, y el día 1 de junio, en la Iglesia Mayor de Santa María, fue proclamado nuevo rey de Castilla Alfonso X. Se iniciaba entonces uno de los reinados más esplendorosos y a la vez más paradójicos del reino de Castilla y León. Un reinado de brillantes realizaciones sobre todo culturales; y al mismo tiempo de proyectos políticos irrealizables, de glorias y miserias públicas y privadas de Alfonso X, del rey Sabio que miraba las estrellas e intentaba explicar y justificar su influencia en el devenir de la vida.

Llegó el nuevo monarca al poder personal en un momento de plena madurez. La formación adquirida en los distintos "saberes" y la experiencia acumulada son sólidas. O al menos eso parece ante la sociedad política de su tiempo.

Pero la realidad de Castilla sería progresivamente otra. Y ahí es donde colisionarían los deseos del nuevo monarca de Castilla y las circunstancias privadas heredadas de su padre. Es cierto que el reino estaba en paz; el sometimiento de los taifas andalusíes en la Frontera –Niebla, Granada, Jerez y Arcos– y el control de la nobleza levantisca con la unión definitiva de Castilla y León en un sólo reino, potenciaban al Alfonso X en el contexto peninsular de medidos del siglo XIII. Su prestigio era grande, pletórico de facultades y lleno de posibilidades.

Pero no obstante había problemas. Las Cortes de Sevilla de 1252 lo pusieron en evidencia y la *Crónica de Alfonso X*, escrita a medidos del siglo XIV, también. El problema económico era el más grave e inmediato y las medidas regias insuficientes porque las carestías, la inflación monetaria y los desabastecimientos urbanos empobrecían el reino. Así se recogen en sus quejas los procuradores de las ciudades castellanas al menos hasta las Cortes de Jerez de 1268.

Otro conflicto fueron las llamadas ofensas familiares desde 1253 y hasta 1275, incluso hasta su muerte en 1284, pues gastarían lentamente la moral incluso la delicada ya salud del monarca. Tensiones familiares conocidas por la documentación y la *Crónica de Alfonso X* con algunos de sus hermanos y parientes derivadas de la generosidad señorial y territorial de su padre Fernando III para con su segunda esposa, Juana de Ponthieu, y sobre todo para con los muchos hijos de sus dos matrimonios. Pues el rey

Sabio tuvo nada menos que catorce hermanos; nueve de su padre con Beatriz de Suabia y cinco de Fernando III con la bella y joven condesa francesa.

Es posible que muchos de aquellos problemas familiares no sólo fatigaran al monarca sino que restringieron muy a menudo su acción de gobierno personal. La imagen de Alfonso X en *Las Cantigas de Santa María*, por ejemplo, nos muestran a un personaje regio soberbio, pero de naturaleza frágil, delgado y muy pálido.

También existieron éxitos personales, políticos e incluso diplomáticos que vaticinaban un reino en expansión y la hegemonía de Castilla y León en la Península Ibérica. A nivel exterior, la firma de los dos tratados de Badajoz de 1253 y 1267 con el reino de Portugal fijó las fronteras en el río Guadiana y resolvieron de momento la enquistada cuestión del dominio del Algarbe. La paz con Alfonso III se selló además con el matrimonio del monarca portugués con la infanta Beatriz, hija de Alfonso X con doña Mayor Guillen.

Sería en este nuevo contexto de reconocimiento peninsular cuando Alfonso X recibió en 1256 la propuesta de la república de Pisa, en nombre de otras ciudades italianas, para ofrecerle la dignidad de emperador y rey de romanos: “*al más excelso de todos los reyes que son o fueron en los tiempos dignos de memoria*”. Por la herencia Staufen de sus antepasados, el rey Sabio, lógicamente, aceptó encantado.

Pero había nacido el que sería con el tiempo uno de los fracasos más notable de la diplomacia exterior alfonsí –el llamado *fecho del imperio*– a la que supeditaría durante años todos los recursos económicos del reino Castilla y León al menos hasta 1275. Fueron los años también de las urgentes y exitosas repoblaciones de Castilla la Mancha, Asturias, Murcia y sobre todo Andalucía (1252-1267) que ha estudiado el profesor Manuel González Jiménez, entre otros investigadores.

Sin embargo, el progresivo desdén de Alfonso X, –especialmente a partir de 1257 ya como nuevo rey electo de romanos– hacia las comunidades mudéjares andaluzas y murcianas mediante el paulatino incumplimiento de los viejos tratados o pactos fernandinos en muchas poblaciones del río Guadalete, como Jerez, y también en las campiñas meridionales andaluzas y murcianas, como en Ecija y Lorca; y sobre todo en la sorprendente conquista del reino vasallo de Niebla en 1262 por motivos políticos frente a Portugal, originarían las protestas de muchos alfaquíes y cadíes –los llamados “alcaldes de los moros”– y también de otros líderes locales importantes, alentados desde Granada.

El resultado final fue la denuncia y ruptura en Sevilla por parte de Muhammad I de Granada del vasallaje debido a Alfonso X y la rebelión extremadamente violenta de los mudéjares andaluces y murcianos entre 1264 y 1266. El sometimiento de la revuelta exigió un duro esfuerzo militar al rey de Castilla; pues tuvo que recurrir a la ayuda de su suegro Jaime I para sofocar Murcia mientras que el mismo reprimía duramente los focos andaluces.

En medio de los nubarrones mudéjares que presagiaban la llegada de importantes contrariedades a Castilla, la boda del infante y heredero don Fernando de la Cerda con doña Blanca, hija del rey de Francia Luis IX, en Burgos a finales de 1269 fue todo un éxito diplomático, muy del gusto de Alfonso X para su proyecto imperial.

A la capital de Castilla, Burgos, donde ya estaba el monarca y su prolija familia, llegaron príncipes y altos nobles franceses, alemanes, portugueses, ingleses, gascones, aragoneses y por supuesto castellanos y leoneses. La liberalidad del monarca fue muy generosa, como era de esperar, con espectáculos caballerescos, justas y torneos.

La ingenuidad del hombre, que estudiaba las estrellas, confiando en su familia y en la fidelidad de sus vasallos, contrastaría ahora con la vanidad y engreimiento del monarca, del rey electo de romanos. Y todos en la corte castellana lo sabían. Así, por ejemplo, la vehemencia alfonsí frente a los nobles y los concejos castellanos se explicaría porque había supeditado su elección imperial a los recursos y la diplomacia del reino de Castilla. Y Alfonso X no cesó de pedir subsidios extraordinarios para sus aspiraciones imperiales en las continuas reuniones de Cortes que se celebraron desde entonces; sin encontrar, ni mucho menos, apoyo en los pontífices romanos, si siquiera después de la muerte de su contrincante Ricardo de Cornualles en 1272.

A pesar de las malas perspectivas, la perspicaz obstinación de Alfonso X, como era de esperar en un hombre de su talante, consiguió una serie de entrevistas con el papa Gregorio X en la ciudad francesa Beaucaire en la primavera de 1276. La ida al imperio fue larga y costosa; y los resultados políticos ridículos porque el papa se inclinó definitivamente por la elección imperial del noble austriaco Rodolfo de Habsburgo. A su vuelta a Castilla se encontró con una opinión pública soliviantada, hasta tan punto de que el monarca no se atrevió a entrar en Toledo.

Pero, sin duda, donde Alfonso X obtuvo su más rotundo fracaso, que le obligó a refugiarse en la ciudad de Sevilla y en sus saberes, fue en sus relaciones con la nobleza y su familia.

Efectivamente a consecuencia de su política centralizadora y fiscal la crisis de Alfonso X con los nobles del reino de Castilla estalló en 1272 y, como resultado, buena parte de la nobleza castellana más próxima al monarca, con su hijo el infante don Felipe y don Nuño González de Lara a la cabeza, se exilió en Granada hasta 1275.

Además en 1275, estando Alfonso X en Europa tratando con el Papa acerca de sus pretensiones imperiales, se produjeron de forma casi sucesiva dos acontecimientos importantes. Por un lado, la invasión de los benimerines por Andalucía, el nuevo poder político del norte de África. Y por otro el fallecimiento en Villa Real del infante heredero don Fernando de la Cerda. Según *Las Partidas* y los acuerdos firmados con Francia al concertarse en 1269 el matrimonio del príncipe heredero con Blanca, hija de Luis IX, Alfonso X se había comprometido a que el hijo que naciese de esta unión debería ostentar la condición de rey. Estas previsiones sucesorias alteraban por completo lo que hasta entonces había sido la norma tradicional del reino de Castilla que la nobleza defendía; pues según la cual, muerto el príncipe don Fernando, el segundo de los hijos del rey, en este caso el infante don Sancho, debería haber asumido de manera automática la condición de “hijo mayor y heredero”.

Pero Alfonso X, forzado entre la nueva legalidad y sus compromisos internacionales, por un lado; y por otro, ante la posición de don Sancho y de buena parte de la opinión pública del reino –concejos y nobles– favorable a que se aplicase el derecho tradicional castellano, dudó en reconocer como heredero a su hijo segundo, cosa que no hizo hasta

las Cortes de Segovia de 1278. Esto creó entre padre e hijo una cierta tensión que acabó estallando en 1281 cuando el rey comunicó al infante que había decidido, para apaciguar a Francia, defensora de los derechos de don Alfonso de la Cerda, hijo del malogrado don Fernando de la Cerda, conceder a éste en feudo el reino de Jaén, en Andalucía.

El infante don Sancho se negó a esta solución afirmando que su condición de heredero le venía directamente de Dios, quien, para que pudiese ser rey –y son las palabras que pone en su boca la *Crónica de Alfonso X*– “mató a un mi hermano que era mayor que yo ... porque lo heredase yo [el reino] después de vuestros días”.

Unos meses más tarde, en abril de 1282, tuvo lugar en Valladolid una magna asamblea en la don Sancho fue proclamado regente del reino tras haberse privado a Alfonso X de todos sus poderes y competencias, excepto el título, vacío ya de contenido, de rey de Castilla. Abandonado por casi todos, incluido su esposa Violante y sus nietos, Alfonso X enfermo de hidropesía y cáncer se refugia definitivamente en la corte de Sevilla.

El enfrentamiento civil se prolongaría hasta la muerte de Alfonso X en el alcázar de Sevilla el 4 de abril de 1284. Antes de morir, en enero de ese mismo año, Alfonso X ratificó el desheredamiento y la maldición de su hijo don Sancho y de toda su descendencia. Si bien la *Crónica de Alfonso X* señala que estando ya a punto de morir perdonó al infante don Sancho y a todos sus partidarios: “*Et desque esto ouo acabado e librado, reaçibio el cuerpo de Dios muy deuotamente e a poca de ora dio a Dios el ánima*”. Se enterró el monarca, por propia indicación, en la Capilla Real de la antigua Catedral de Santa María junto a su padre Fernando III y su madre Beatriz de Suabia.

En su conjunto, el Rey Sabio entendió que para legitimarse en el poder ante la sociedad castellana y europea de su tiempo, incluida la curia romana y los ávidos príncipes electores imperiales, había que mostrar “*sabiduría*” y no solo en el gobierno del vasto reino de Castilla y León sino en sus aspiraciones imperiales.

De modo que en su proyecto de poder regio la cultura y el gobierno - la sabiduría, en fin- fueron para este monarca universal de alguna manera aspectos complementarios o mejor equivalentes y nunca disyuntivos. Lo que justificaría su interés por todas aquellas ramas del conocimiento universal que podían reforzar sus proyectos políticos en Europa y en Castilla; la historia y el derecho, sobre todo, pero también las letras, la piedad mariana, la promoción áulica de una notable arquitectura civil y religiosa y por supuesto la ciencia, básicamente la astronomía; sin olvidar el entretenimiento como los juegos, la música y la poesía. Sin duda por ello, su biznieto, Alfonso XI, rey también de Castilla y León a mediados del siglo XIV, no dudaría en llamarlo en su crónica con justicia EL REY SABIO hasta hoy.

BIBLIOGRAFÍA

- AYALA MARTÍNEZ, C. *Directrices fundamentales de la política peninsular de Alfonso X (Relaciones castellano-aragonesas de 1252 a 1263)*, Madrid, 1986.
- CARRIÓN GUTIÉRREZ, J. M. *Conociendo a Alfonso X*. Murcia, 1997.
- DOMENÉ SÁNCHEZ, D. *Alfonso X el sabio no santo*. Madrid, 1997.
- FERNÁNDEZ-ORDÓÑEZ, I. *Alfonso X el Sabio en el VIII centenario*. Madrid, 2020.

- GONZÁLEZ JIMÉNEZ, M. Y OTROS. *Sevilla en tiempos de Alfonso X el Sabio*, Sevilla, 1987.
- GONZÁLEZ JIMÉNEZ, M. *Diplomatario andaluz de Alfonso X*, Sevilla, 1991.
- GONZÁLEZ JIMÉNEZ, M. *Alfonso X, 1252-1284*, Palencia, 1995.
- GONZÁLEZ JIMÉNEZ, M. *Crónica de Alfonso X*. Murcia, 1998.
- GONZÁLEZ JIMÉNEZ, M. *Alfonso X el Sabio*, Barcelona, 2004.
- MINGO LLORENTE, A. *Alfonso X, El Sabio*. El primer gran rey. Madrid, 2021.
- O'CALLAGHAN, J. F. *El Rey Sabio. El reinado de Alfonso X de Castilla*. Sevilla, 1996.
- PROCTER, S. E. *Alfonso X de Castilla. Patrono de las letras y del saber*. Murcia, 2002.
- RODRÍGUEZ LLOPÍS, M. (coord.), *Alfonso X. Aportaciones de un rey castellano a la construcción de Europa*, Murcia, 1997.
- RODRÍGUEZ LLOPÍS, M. (coord.), *Alfonso X y su época. El siglo del Rey Sabio*, Barcelona, 2001.
- SALVADOR MARTÍNEZ, H. *Alfonso X el Sabio. Una biografía*, Madrid, Polifemo, 2003.
- SEGURA GRAIÑO, C. (coord). *Alfonso X el Sabio, vida, obra y época*. Madrid, 1989.
- SEVILLA, F. *Alfonso X. Esplendores y sombras de un rey Sabio*. Sevilla, 2021.
- VALDEÓN, J. *Alfonso X el Sabio. La forja de la España moderna*, Madrid, 2003
- VERNET, J. *Nuevos estudios sobre astronomía española en el siglo de Alfonso*. Barcelona, 1993.

MESA REDONDA ¿QUÉ SOMOS?

*Intervención del
profesor Javier Fernández Sanz
en la mesa redonda en torno al ensayo
del profesor José Luis Manzanares Japón,
el 20 de septiembre de 2021.*

Excmo. Sr. Presidente de la Real Academia Sevillana de Ciencias, Excmas. e Ilmas. Autoridades y Representaciones, Excmos. e Ilmos. Srs. Académicos, Sras. y Sres.:

Es para mí un honor participar en esta mesa redonda entorno al ensayo que ha escrito nuestro estimado compañero de Academia, el Prof. Manzanares, sobre una pregunta esencial, una cuestión capital en la existencia del ser humano, que en el ensayo se centra alrededor de la comprensión de la realidad física que nos envuelve.

El interés del hombre por comprender la realidad en la que vive se remonta probablemente, a los orígenes de su existencia, como lo muestran los restos arqueológicos repartidos alrededor del mundo. En lo que conocemos como cultural occidental, la evolución de la conciencia de la realidad física ha ido cambiando con notables altibajos. Si partimos de la época clásica, la observación del cielo y el intento de comprender su comportamiento fue aportando respuestas que ayudaron a interpretar su entorno, con notable éxito de hecho.

Esta época de esplendor fue seguida de otra de regresión, la Edad Media, y primera parte de la Edad Moderna, en la que la visión del mundo estuvo condicionada por el carácter dogmático de la Iglesia católica, quien monopolizó el conocimiento y se arrogó el derecho (erigiéndose en juez) de determinar la validez de las ideas. Ante la perspectiva de la hoguera, las ideas científicas debían atenerse a un doble rasero: verdad de fe y verdad de razón.

El paradigma científico basado en la visión clásica se retoma con Galileo (1564-1642) y Descartes (1596-1650), y se asienta con la Teoría de la Gravitación de Newton (1643- 1727). Junto con Francis Bacon, la influencia de estos pensadores produjo una visión del mundo mecanicista, reduccionista, fragmentada, materialista, etc., que se extendió desde la ciencia al conjunto de la sociedad, influyendo en la educación, la economía, la política y la cultura¹.

1. R. Gallegos. *Educación holista: Pedagogía del amor universal*. México, Pax México, 1999.

El paradigma cambia de forma radical cuando, en el siglo XX, aparecen en escena Albert Einstein con su Teoría de la Relatividad, y Erwin Schrödinger y Werner Heisenberg con sus leyes sobre la mecánica cuántica, quienes revolucionaron completamente la interpretación de la realidad y por ende la interpretación que se tenía del universo. Frente a la visión de un universo determinista, ordenado, en el que el tiempo es un continuo absoluto, inmutable e independiente, Einstein establece que el tiempo no puede estar separado de las tres dimensiones espaciales, sino que, al igual que ellas, depende del estado de movimiento del observador, introduciendo de este modo la idea de dilatación del tiempo.

No menos exóticos son los principios sobre los que se asienta la mecánica cuántica, como la dualidad onda-partícula, irrefutablemente demostrada con los experimentos de difracción, o el principio de incertidumbre de Heisenberg. Más aún, la posibilidad de que la descripción de un objeto corresponda a una superposición de estados antes de ser observado, y en un estado definido después de ser observado, esta peculiar característica, que no tiene cabida en nuestra intuición, nos pone en frente de otra de las revoluciones conceptuales de la mecánica cuántica: la pérdida de la existencia de una realidad objetiva en favor de varias realidades que existen simultáneamente. Esto nos lleva a la concepción de universos paralelos los cuales pueden coexistir en un mismo espacio pues no son interactuantes.

¿Cuál es la conciencia de la realidad ante la irrupción de estas ideas? Bien, pues debemos admitir que la percepción lineal de causa-efecto, autocontenida de los hechos, sobre la que giraba el pensamiento occidental, se transforma en una percepción en la que los hechos están interrelacionados, una percepción más bien holística, es decir englobando el todo.

Una realidad física interpretada desde un punto de vista reduccionista estaría construida sobre esos ladrillos que son los electrones, protones, neutrones y demás partículas elementales, que, por simplificar, incluso podríamos dejar solo en átomos, claro está, no como esferas, sino con su estructura electrónica. El comportamiento de estos ladrillos elementales está gobernado por la mecánica cuántica.

Antes de proseguir, me gustaría señalar aquí que la mecánica cuántica es, simplemente, un conjunto de reglas matemáticas que permiten desarrollar una teoría física. Aunque su marco de aplicación sea la escala nanoscópica, su alcance desborda en todos los aspectos de la ciencia moderna. Ha habido multitud de intentos de demostrar que falla, pero hasta ahora todos han fracasado.

Como decía, los átomos, cuyas propiedades atómicas vienen dictadas por su estructura electrónica, que a su vez responde a su naturaleza cuántica, se agrupan para formar moléculas. Cuanto más estables más probables. Es una cuestión de oportunidad, pero no solo energética, sino también entrópica. Estas moléculas, digamos elementales reaccionan entre sí para producir moléculas de mayor complejidad. Por ej., citando biomoléculas, a partir de metano, agua, amoníaco y sulfhídrico se podría obtener la serie de aminoácidos cuya combinación, siguiendo un orden, daría lugar a cadenas peptídicas, cuyo plegamiento, siguiendo instrucciones precisas, llevaría a una proteína. Veamos otro ejemplo. A partir de moléculas elementales se pueden obtener azúcares y las bases

púricas y pirimidínicas, las cuales, ordenadas de una manera muy concreta, conducen a los ácidos nucleicos ARN y ADN cuya relevancia no es necesario comentar.

¿Qué palabras se repiten aquí? Molécula simple, molécula compleja y ordenamiento. Hay muchos más ejemplos. La naturaleza entera está llena de ellos. Todos los seres vivos están formados por estructuras ordenadas. Como el profesor Manzanares menciona en su ensayo, la ordenación de biomoléculas conduce a células que se organizan en tejidos, a su vez en órganos, etc. Nuevamente ordenar, ordenar y ordenar. Ahora bien, ordenar cuesta energía. Es una idea con la que todos estamos familiarizados. Este coste energético no parece ser un problema, al menos visto como seres vivos que habitan el planeta Tierra, ya que disponemos de una fuente energética inagotable a nuestra escala, el Sol.

Pero en esta afanosa tarea de ordenamiento hay un factor que no se nos debe escapar. Consumimos energía para ordenar, pero a costa también de desordenar el medio en que vivimos. Esta es una forma alternativa de ver el 2º principio de la termodinámica, ley inexorable de la física que también puede expresarse en términos de una función que llamamos entropía. El 2º principio establece que todos los procesos irreversibles conllevan un aumento de la entropía del conjunto, o bien, utilizando la jerga ad hoc, un aumento de la entropía del universo. Todos los fenómenos que tiene lugar en la naturaleza son irreversibles. La vida, nosotros mismos, somos un conjunto muy complejo de procesos irreversibles. Así que naturaleza, vida, por lo tanto, y entropía son términos que, si bien pertenecen a ámbitos totalmente diferentes, están íntimamente relacionados.

Podríamos avanzar más en esta línea, pero, por ahora, lo que nos interesa retener es esa relación entre orden, información y entropía. Cuanto mayor es el desorden del sistema, mayor es la entropía y menor la información que de él disponemos. La entropía puede interpretarse como una medida de la distribución al azar de un sistema.

Esta relación entre orden y entropía no es simplemente cualitativa, sino que está representada bajo la forma de una ecuación, la ecuación de Boltzmann, que establece una relación entre la entropía y el número de posibilidades que podamos establecer como equivalentes en la descripción de un sistema. Desafortunadamente, Boltzmann desapareció pocos años antes de que se formulara la mecánica cuántica, aunque se puede decir que la rozó con los dedos. Además de su archifamosa ley de distribución, su ecuación de la entropía constituye la piedra angular de la mecánica estadística.

La mecánica estadística es clave en la descripción del comportamiento de la materia, ya que permite relacionar el mundo macroscópico con el microscópico. Relaciona magnitudes termodinámicas como calor, presión, temperatura y, claro está, entropía, con las propiedades de los átomos y moléculas individuales que componen esa materia, todo ello utilizando técnicas estadísticas y teoría de probabilidades. En su puesta en escena, utiliza enjambres de réplicas, que conocemos con el nombre de colectivos: canónico, gran canónico, etc.

El paso del mundo cuántico al macroscópico no es abrupto, la mecánica estadística proporciona una transición suave entre ellos. La artillería matemática que conlleva la utilización de la función partición es laboriosa en sí misma, pero resoluble para muchos sistemas sencillos. La tarea se complica enormemente al aumentar la complejidad del sistema. Pero esto no nos debe asustar. Por ejemplo, en el campo de la Química Com-

putacional, importantísimas mejoras conceptuales y algorítmicas, junto con un espectacular desarrollo de los procesadores permiten la realización de cálculos que hace 10 años eran impensables. Con decenas de millones de partículas. ¿Qué va a pasar cuando en un plazo de, digamos, una década, se desarrolle la algoritmia basada en los qbits, y se ponga en marcha la computación cuántica?

Si seguimos por esta senda ¿qué nos impide pensar que dentro de un tiempo no vamos a disponer de la función de partición, más o menos aproximada, de una célula, o de una parte relevante? Función de partición o como quiera que dé en llamarse entonces. No tiene porque ser una teoría como la concebimos ahora. Esta célula pertenecería al mundo mesoscópico, y su agrupación en tejido celular proporcionaría un ejemplo de colectivo gran canónico. Estudiando las fluctuaciones del colectivo quizá podríamos vislumbrar la razón nanoscópica (es decir, a nivel químicocuántico) de una enfermedad determinada. ¿Qué enlace químico concreto ha fallado, y por qué, para que, por ejemplo, una transcripción fracase y se produzca una mutación?

Podemos seguir extrapolando con la idea del colectivo estadístico y avanzar con otra idea disruptiva. Pensemos en el ser humano y en su conjunto. Cada uno de nosotros podríamos ser una réplica de un colectivo estadístico, el colectivo humanidad. Somos diferentes unos a otros, pero no tanto. Veamos: tenemos la misma composición química, misma temperatura, mismo tamaño... Esto último del tamaño puede parecer contradictorio, puesto que simplemente mirándonos unos a otros nos vemos más grandes o más pequeños, con más o menos peso...pero: ¿es esto relevante? Vamos a analizarlo de cerca, en términos de átomos constituyentes. Dos personas cuyo peso difiere en 1 kg, que por simplificar vamos a suponer que es agua, difieren en 55 moles de agua, es decir 33 cuatrillones de moléculas de agua, lo que viene a ser unos 100 cuatrillones de átomos. La cifra en sí misma es tremenda, pero, claro, para un peso medio de 80 kg, o sea 8.000 cuatrillones, que las réplicas difieran en unos centenares de estos ya no parece tan relevante. Lo importante es que se mantiene el orden de la cifra, la unidad de cambio entre el mundo microscópico y macroscópico, la constante de Avogadro.

Hay más dificultades en este camino. Ya Schrödinger, en su famosa monografía sobre la naturaleza de la vida indicó que un ser vivo, una planta, por ejemplo, absorbe energía solar de calidad, la utiliza para sintetizar carbohidratos, y libera energía de baja calidad, como calor. Todo de acuerdo al 2º principio de la TD. Sin embargo, en la época, sólo se sabía tratar con sistemas cerrados en equilibrio. En la década de los 60, el físico ruso-belga Ilya Prigogine avanzó en el tratamiento de sistemas abiertos acoplados débilmente a una fuente externa de energía, estudios que le valieron el premio Nobel de Química en 1977².

El tratamiento fue elaborado posteriormente, en la década de los 90, por Jarzynski y Crooks³ quienes profundizaron sobre el cambio de entropía en procesos irreversibles con sistemas abiertos fuera del equilibrio y acoplados fuertemente a una fuente de ener-

2. I. Prigogine. *El nacimiento del tiempo*. Buenos Aires, Fábula Tusquets editores, 2012.

3. G. E. Crooks. *Entropy production fluctuation theorem and the nonequilibrium work relation for free energy differences*. <https://arxiv.org/pdf/cond-mat/9901352v4.pdf>

gía externa, es decir, del tipo de sistemas que representan los seres vivos. Desarrollando estas ideas, de forma reciente, en 2014, Jeremy England, joven físico del MIT ha mostrado que las partículas en estas condiciones tienden a disipar más energía cuando entran en resonancia con una fuerza motriz externa, lo cual les marca una tendencia a moverse en una dirección con mayor probabilidad que en otra⁴. Textualmente: “grupos de átomos inmersos en un baño térmico, como la atmósfera o el océano, se organizarían a lo largo del tiempo para mejorar su interacción con el campo externo”. Los detalles finos de la naturaleza no solo vienen dictados por las propiedades químicas del caldo primitivo, sino que hay que tener en cuenta las mutaciones aleatorias, las condiciones geográficas, innumerables catástrofes de todo tipo, y toda una incontable pléyade de factores adicionales. Pero de acuerdo a la teoría de England, el motor básico que subyace a lo largo de todo el proceso estaría regido por la adaptación de la materia a la disipación de energía.

Resuelto el problema formal, esto convierte a los seres vivos en máquinas térmicas. De modo que, ya sin cortapisas, bien podríamos imaginarnos miembros de ese colectivo estadístico de unos 7.000 millones de réplicas al que me he referido antes, y que conocemos como humanidad.

Hemos partido de una visión reduccionista y terminado en una concepción holística. Seres vivos, vistos como máquinas térmicas, cuyo orden desaparece al morir, momento en el cual se produce un enorme aumento de entropía. La vida estaría ligada a esa capacidad de generar y mantener orden que, inexorablemente, se va perdiendo con el tiempo.

Esto, desde luego, no descarta que como en un videojuego, seamos solo información, conjuntos de 0 y 1, puro código. Un gigantesco programa en el cual se ha codificado a los seres vivos como máquinas térmicas, un programa en el que el escarabajo no ve más allá de la duna, mientras que el ser humano es capaz de mirar a las estrellas.

De modo que, al final de todo, la pregunta subsiste:

¿Y si solo fuéramos software?

4. J. L. England. *Statistical physics of self-replication*. *J. Chem. Phys.* 139, 121923 (2013). <http://dx.doi.org/10.1063/1.4818538>

