

ACADEMIA ASTURIANA DE CIENCIA E INGENIERÍA

EN UN MUNDO GLOBAL, ¿CÓMO Y EN QUÉ CONTRIBUIR?

DISCURSO PRESENTADO EN EL ACTO DE SU INCORPORACIÓN COMO
ACADÉMICO DE NÚMERO POR

PROF. JOSÉ MARIO DÍAZ FERNÁNDEZ

Y CONTESTACIÓN DE

ILMO. SR. BORJA SÁNCHEZ GARCÍA

Consejero de Ciencia, Innovación y Universidad. Principado de Asturias

EL DÍA 21 DE JULIO DE 2022



c/ San Francisco. Edificio Histórico - Universidad de Oviedo
OVIEDO

ISBN: 978-84-09-42759-8

D.L. AS 2022 en trámite

Imprime: Cízero Digital

EN UN MUNDO GLOBAL, ¿CÓMO Y EN QUÉ CONTRIBUIR?

DISCURSO DE INGRESO DEL
PROF. JOSÉ MARIO DÍAZ FERNÁNDEZ



a mis padres, esposa, hijos y nietos

ÍNDICE

Introducción	1	
Globalizándonos	4	
<i>a. Personal</i>	<i>b. Asturias</i>	
<i>c. Nos llega la Ciencia</i>	<i>d. Se juntan los retos</i>	
La Ciencia y la Academia	7	
2.1 Sobre la ciencia		
2.2 Las universidades y las academias		
1.3 El entorno en que nos movemos		
<i>a. Las necesidades sociales</i>	<i>b. El entorno y la Academia</i>	
Los retos actuales. De recursos y productos	15	
3.1 Las tendencias sociales		
<i>a. Los elementos impulsores</i>	<i>b. El cambio climático</i>	
3.2 La gestión y ahorro de recursos		
<i>a. La buena gestión de recursos</i>	<i>b. Economía circular</i>	
<i>c. Bioeconomía y biodiversidad</i>	<i>d. Respuestas a los retos planteados</i>	
1.4 . La situación actual		
<i>a. Todo está cambiando</i>	<i>b. Evolución en España</i>	
Sobre la investigación en Ingeniería Química en las últimas décadas	28	
3.1 La evolución científica		
<i>a. Ciencia</i>	<i>b. Ingeniería</i>	<i>c. Ingeniería Química</i>
3.2 La investigación en España		
<i>a. General</i>	<i>b. Los temas en la Ingeniería Química</i>	
1.5 Cómo lo he visto y lo he vivido		
<i>a. Los Ochenta</i>	<i>b. Los Noventa</i>	<i>c. Cambio de milenio</i>
<i>d. Primera década</i>	<i>e. Segunda década</i>	
Algunas consideraciones sociales	63	
<i>a. Tendencias socioeconómicas</i>	<i>b. Impacto de la ciencia</i>	
Final	66	
Consultas adicionales	68	

En un mundo global, ¿cómo y en qué contribuir?

En un mundo global, la industria y el consumo se transforman por las consideraciones de sostenibilidad, que se convierten en normas legales y exigencias sociales. La contribución de cada uno de nosotros y de toda la sociedad debe adaptarse a esos cambios para garantizar el futuro. La ciencia y la ingeniería tienen que tratar de resolver los problemas que se plantean, y los investigadores procurar contribuir con las herramientas disponibles. La labor de promoción del sistema de ciencia y tecnología es responsabilidad de todos y la Academia de Ciencia e Ingeniería de Asturias quiere trabajar también en ese objetivo con realismo e ilusión.



Pintura en San Julián de los Prados (s. IX)

En un mundo global, ¿cómo y en qué contribuir?

Sr. Rector Magnífico de la Universidad de Oviedo
Ilmo. Sr. Consejero de Ciencia, Innovación y Universidad
Representantes de Instituciones y de Empresas
Miembros de la Academia
Señoras y señores
Queridos amigos

Introducción

*Cualquier instante de la vida humana
es un nuevo argumento que me advierte
cuán frágil es, cuán mísera, y cuán vana.*

Francisco de Quevedo, del soneto Salmo 19



Comenzaré agradeciendo a los demás miembros de la Academia Asturiana de Ciencia e Ingeniería por su amistad y colaboración en esta actividad de desarrollar la Academia. Todos entendemos que el esfuerzo merece la pena con el objetivo genérico de ampliar el conocimiento e interés por la ciencia y la ingeniería en nuestra región. Una mención para todos, Javier Sebastián (Catedrático de Electrónica), Carlos López (Catedrático de Bioquímica), Rosa Menéndez (Profesora de Investigación CSIC-Incar), Javier Cuevas (Catedrático de Física), Consuelo Martínez (Catedrática de Álgebra), Ángeles Gil (Catedrática de Estadística), Antonio Bahamonde (Catedrático de Ciencias de la Computación e Inteligencia Artificial), Abelardo Margolles (Profesor de Investigación CSIC-IPLA), José Luis Acuña (Catedrático de Ecología), Cristina Rodríguez (Catedrática de Mecánica de los Medios Continuos) y Rosario Rodicio (Catedrática de Microbiología). Su trabajo y

experiencia durante más de treinta años, son un soporte fundamental para la Academia. La Ciencia y la Ingeniería son muy amplias, incluso mucho más de lo que señala la diversidad de las áreas de conocimiento señaladas.

La ciencia se basa en un análisis crítico continuo de la realidad, junto a un intercambio de conocimientos libre de otras consideraciones. La experimentación resulta fundamental. Max Planck decía que *«Un experimento es una pregunta que la ciencia realiza a la Naturaleza, y la medida es su respuesta»*. Pero al mismo tiempo la valoración de la respuesta es clave para el desarrollo de la ciencia. Justus von Liebig señalaba unos años antes que *«Un hecho adquiere su verdad y valor completo sólo a través de la idea que se desarrolla a partir de ella»*. El principio del análisis crítico y libertad del pensamiento es fundamental en el desarrollo de la ciencia.

Galileo Galilei ya había dicho unos siglos antes que *«En ciencia, la autoridad de miles de opiniones no vale tanto como una pequeña chispa de razón de una persona»*. La idea “mejor”, el mejor análisis en un momento dado puede venir de personas muy diferentes, con diferentes talentos, y no nos olvidemos que como dice nuestro compañero Carlos *«El talento es el bien mejor repartido en todo el planeta»*. Así pues, la duda debe extenderse de forma general, más teniendo en cuenta la forma tradicional de instalarnos en determinados paradigmas y la dificultad para romperlos como señaló Thomas Kuhn. Incluso para retornos a la duda, Richard Feynman añadía *«Si pensaste que la ciencia era algo cierto, es simplemente tu error»*.

La ciencia, la investigación, están relacionadas con muchas otras actividades. La docencia está relacionada con el seguimiento de la investigación, pero la docencia en los campos aplicados también está relacionada con la evolución de la industria, y con el conocimiento social y la difusión de ésta hacia la sociedad. Decía José Ibarz en su icónico libro con Joseph Babor de Química General de 1958 que muchos estudiamos, *«... no se es Profesor por el hecho de explicar una disciplina, sino por conocer profundamente su significado, su alcance actual y su evolución y desarrollo»*. Todo ello debe estar en nuestros objetivos.

En una vida dedicada profesionalmente a la Ciencia e Ingeniería me he encontrado con muchas personas de quienes he aprendido y con quienes he colaborado. Quiero recordar a mi maestro de primaria Victor Vega que manifestó su apoyo para que siguiese adelante, y donde empezó todo. A los profesores de bachillerato y de la Facultad de Química; por mencionar a alguno, Socorro Martínez de Química Física con una dedicación absoluta, y a mi director de tesis José Coca. Un recuerdo también para Juan Miró, que se expresó con independencia en uno de aquellos concursos que me resultaron favorables para ser Profesor Agregado Numerario de Ingenieros Industriales en 1981. Desde 1981 a 1987 me desarrollé como Profesor Agregado y después como Catedrático en la Universidad del País Vasco, donde quiero reconocer el compañerismo y amistad de muchos, así como a los doctores a cuya formación contribuí. Y por supuesto en más de 34 años como Catedrático en Oviedo he tenido la suerte de contar con muchos compañeros y amigos, en particular en el Departamento, que lamento no poder ahora enumerar. Y también finalmente a todos los alumnos de licenciatura, grado, máster y a los 47 doctores que tuve el honor de

dirigir en 46 años de trabajo universitario. Gracias a todos y disculpas nuevamente por no poder enumerarlos de forma exhaustiva.

La situación en los años 50 del siglo pasado resulta ahora difícil de visibilizar. Desde entonces nos hemos ido globalizando, primero a nivel regional y nacional, después a nivel mundial, en economía y en ciencia. La compleja adecuación que requería la industria se fue adaptando, al tiempo que los cambios sociales y políticos, incluyendo la sucesiva internacionalización y, posteriormente, las crecientes exigencias de sostenibilidad. De igual forma, tanto la estructura universitaria como la de investigación, sufrieron cambios drásticos. Las necesidades sociales hicieron que los temas de investigación se hayan modificado, en mi caso desde el tema inicial de reactores gas-líquido. Las exigencias de economía circular y de bioeconomía, entre otros, han estado demandando la investigación en temas tales como el uso de materiales biológicos, o el aprovechamiento de residuos.

Este Discurso y Memoria de Ingreso, es también inaugural en la Academia Asturiana de Ciencia e Ingeniería, por lo que es especial bajo muchos puntos de vista. Me ha parecido por ello conveniente conjugar algunos aspectos relacionados con la contribución de las Academias, al tiempo que presento la línea guía de cómo la globalización nos ha ido modelando y exigiendo, tanto a nivel industrial como a nivel científico, personalmente y como generación.



Índice resumido

La respuesta a las exigencias exteriores siempre es una búsqueda de nuestra contribución a los intereses de la sociedad. Es el servicio que podemos dar, para recibir a su vez los beneficios aportados por los demás. Las actividades van cambiando según las necesidades de la sociedad, y en esta Memoria se recogerá también la evolución de la investigación en Ingeniería Química y, en particular, la personal, como ejemplo de un enfoque bastante general y, específicamente, en España.

En definitiva, en un mundo global los cambios son muy rápidos, la competencia se vuelve creciente y debemos estar buscando esa adaptación de forma continua. Se necesitan instituciones que, con flexibilidad, puedan dar opiniones e información del interés de la ciencia y la ingeniería. Y en este objetivo la Academia Asturiana de Ciencia e Ingeniería pretende hacer una contribución acorde con su capacidad.

1. Globalizándonos

*Hoy he tomado el barro de la palabra en frío;
su piel ya me conoce; poco a poco, temblada
por mi caricia, vibra, responde a la llamada
de la costumbre. Toco. Me adueño de lo mío.*

Jose Garcia Nieto “Barro de la palabra”



a. Personal

Mi abuela materna había quedado viuda con dos niños menores de tres años y esperando otro. Tuvo capacidad para criarlos, en base a su única actividad familiar agrícola, y en la que resultaba importante la existencia del mercado de la Pola y la plaza de Noreña. Este fue también el soporte vital de los abuelos paternos, que antes probaron, sin éxito, hacer las “américas” en Cuba. De una forma u otra como pudo ocurrir a muchos de ustedes. Esto fue hace unos cien años. Mi madre recuerda como muy feliz la vida en su juventud, con un mundo en San Martín de Anes. Yo también vi esta sociedad en esa primera niñez, con una economía de proximidad y con fuertes relaciones familiares y de vecinos.

El ferrocarril de Langreo entre Gijón y Laviana nos daba un sentido de comunicación que considerábamos extraordinario. A finales de los años 50 supimos de la existencia de Estados Unidos al llegarnos a la escuela nacional leche y queso, que siempre catalogamos, con razón, como mucho peores que los nuestros.



*La familia y la patria de los amores
nuestro mundo de los amigos
el equipo de la nación
el mundo de la solidaridad
unidos en el alma con todos los colores.*

Después nos empezamos a globalizar personalmente. En los años 60 se abrieron institutos, y los amigos estudiamos en Noreña y en Gijón. Después, estudié en la Facultad de Química de Oviedo hasta 1975 y comencé a sentir la pertenencia a una comunidad de conocimientos global y, al mismo tiempo, la importancia de su evolución pasada y su interés futuro. Como señala Michael J. Sandell, Premio Princesa de Asturias 2018, «*La comprensión de uno mismo requiere considerar la comunidad a la que se pertenece*».



La Escuela de Pañeda
1957-1963



El instituto de Noreña
1963-1967



INB Jovellanos Gijón
1967-1970

b. Asturias

En los años 50 veíamos a la industria del metal, carbón, ferrocarriles... en pleno auge en la región. Marcaba la diferencia económica respecto a la vida agrícola de unos 200 años atrás, y con la que aún convivía. Asturias constituía una potencia industrial en España, resultado de la llegada del carbón y la energía, los metales y el hierro, los explosivos y los fertilizantes en el siglo anterior. La marcha de los tecnólogos iniciadores de la revolución industrial y la evolución política en el siglo pasado condujo a una congelación de la transformación y, después, a una estatalización de muchos de los sectores. Con todo ello y en pleno franquismo se mantenía el empleo, pero lejos de la internacionalización y actualización tecnológica.

Los siguientes años fueron muy “interesantes” políticamente, conservándose la forma de gestión interna de la industria. Se mantuvo Asturias con una industria congelada, con mantenimiento de la propiedad estatal, actualización bastante limitada y muchas dudas acerca de la evolución y de las perspectivas futuras.

c. Nos llega la Ciencia

A finales de los años 70 éramos conscientes de la necesidad y posibilidad de poder contribuir con trabajos científicos, aunque los resultados eran escasos. Disponíamos de libros de texto importantes, habitualmente traducidos, y también de trabajos científicos publicados preferentemente en español en revistas de nuestro país. Todo ello en cantidades limitadas. Además, las novedades científicas nos llegaban con bastante retraso, aunque en ocasiones se evitaban con algunas estancias en otros países. En el año 1986, la ley de la Ciencia abrió el camino a una financiación pública apreciable de la investigación.

A mediados de los setenta, comienzo como Colaborador de Honor y Profesor Ayudante en la Universidad. En la primera parte de los años ochenta seguía habiendo movilidad de los profesores entre las universidades en España, lo que se fue reduciendo a partir de los años 90. La internacionalización creció algo con la entrada en la Comunidad Europea, aunque de forma limitada, salvo en términos de las publicaciones científicas en el exterior. Seguramente queda mucho camino por recorrer en este ámbito.

La ciencia nos llegó dando un enfoque de globalización con sus propias características de apertura y competencia abierta. También de colaboración interesante con otros investigadores de fuera de España. La contribución de la difusión de la Ciencia a la globalización ha sido muy importante, abriendo también algunas vías en campos menos proclives a ella. El fútbol es también otro ejemplo muy potente de contribución a la globalización. En conjunto el resultado ha sido muy valioso, aunque siempre pudiera haber un cisne negro que lo pueda detener.

d. La globalización se añade a antiguos y nuevos retos

En Asturias la transformación industrial, acompañada de la privatización, una vez finalizado el franquismo tuvo éxitos y fracasos. Algunas empresas evolucionaron manteniendo sectores potentes. Una característica del proceso fue su extensión en el tiempo, quizás con cierta falta de perspectiva general dada su duración, lo que posibilitó una escasa previsión estructural. La situación de las economías familiares ha sido muy diversa según el grado de protección en el que se encontraran los sectores involucrados. En términos de población, el resultado es que su número ha ido disminuyendo, creciendo la emigración de los jóvenes, al tiempo que se reducía la atracción inmigratoria. Este es quizás el mayor problema que afrontamos.

La globalización se solapó con la privatización y la transformación de las compañías, al principio lenta. Posteriormente, se aceleró en los últimos veinte años por el crecimiento asiático, aumentando su competitividad con mucha rapidez. La pertenencia a un ámbito abierto europeo nos ha dado un soporte estructural, especializándonos en algunos campos, pero también ha producido la emigración neta de personas capacitadas y capitales en ese entorno abierto. Ahora estamos pendientes de cuál sea la propia evolución europea. *Asumir nuestra responsabilidad con los demás, con el otro, es el núcleo de la ética*, como señala el filósofo Emmanuel Lévinas.

Y, al mismo tiempo, en la última década se han plasmado de forma clara los objetivos de sostenibilidad, que van a modular la competencia en la globalización, y que para nosotros puede resultar negativo si no hay un acompañamiento de medidas en el proceso. Hay otros riesgos menos visibles que tienen que ver con la competencia entre los bloques políticos, que podría concluir con cambios de la estructura social, drásticos en relación con el pasado.

Así pues, nos encontramos en un mundo global, hemos estado ocupados y queremos seguir haciéndolo, planteándonos cómo y en qué puede contribuir Asturias, cada uno de nosotros, los Centros de Educación e Investigación y también la Academia de Ciencia e Ingeniería de Asturias.

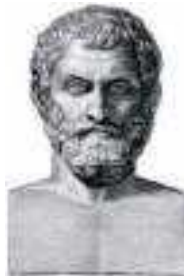
2. La Ciencia y La Academia

La ciencia y la ingeniería deben contribuir a las exigencias sociales. Su promoción atañe a toda la sociedad.



2.1. Sobre la ciencia

A Tales de Mileto (624-546 a. C.), actual Aydin en Turquía, se le considera haber iniciado el pensamiento deductivo para explicar la realidad y ser uno de los primeros filósofos presocráticos. Se dice que podría ser hijo de los comerciantes fenicios Examio y Cleóbula, y que pudo haber tomado conocimientos astronómicos y de geometría de los egipcios y los babilonios. Se le asigna la consideración del agua como el inicio de todas las cosas, ampliándose después por sus discípulos a la tierra, el fuego y el aire. Además, generó un adecuado intercambio de información entre distintos filósofos, lo que promovió la evolución del conocimiento. Anaximandro introduce el Ápeiron como el infinito y Anaxímenes hace hincapié en el aire, indicando que se producen otros elementos por condensación y rarefacción y generándose también el fuego.



Tales de Mileto

Estos fueron algunos ejemplos de contribuciones a través de un principio de realidad, que generó una ruptura con el pensamiento griego anterior, esto es con los más poéticos dioses griegos. Los griegos disponían de muchos olímpicos

interesantes, por ejemplo, para patrocinar la industria (el feo Hefesto), la agricultura (Demeter), la sabiduría (Atenea), la naturaleza y animales (Artemisa) y el océano (Poseidon). La compleja relación y diferencia entre ellos, complicada con la denominación romana, respectivamente Vulcano, Ceres, Minerva, Diana y Neptuno, pervivió, sin embargo, otros setecientos años. La escuela de Tales, lo había puesto en duda, pero no lo había substituido de forma clara.



Egipto y Grecia entre las primeras referencias de nuestro pensamiento histórico

Acostumbramos a contemplar nuestra cultura como una evolución de la griega, pero en este campo ya se habían realizado avances muy importantes en otras zonas. Los sumerios, en la actual Iraq, ya habían desarrollado observaciones y cálculos de geometría y astronomía mil años antes, incluyendo un adelanto empírico del teorema de Pitágoras. Los egipcios también habían desarrollado varios campos, como la geometría, la alquimia o la medicina. Los avances en estas culturas contribuyeron al desarrollo de grandes ejecuciones arquitectónicas.

Pero, además, las civilizaciones del valle del Indo (Pakistán e India actuales) habían desarrollado también la geometría para construcción, la metalurgia y la astronomía (vedas). En realidad, todos estos avances son una breve muestra de un fenómeno que se extendió a partir del neolítico en diversas partes del mundo. El avance de la ciencia y la ingeniería en las épocas mencionadas estuvo relacionado con la distribución de terrenos, la metalurgia o la astronomía entre otros, así como con los desarrollos del alfabeto, por ejemplo, en Babilonia, y la comunicación.



Plimpton 322, cuneiforme en arcilla babilónica mostrando aspectos matemáticos previos al teorema de Pitágoras (alrededor de 1800 a. C. / Univ. de Columbia)

Ya en nuestra Era, la economía y la población, como siempre, han ido marcando hitos en el interés por la ingeniería y la ciencia. La ingeniería y la arquitectura presentaron fantásticos desarrollos en la época romana o, por señalar alguno posterior, el ejemplo de Santa Sofía de Constantinopla (537) o las catedrales góticas desde

mediados del s. XII. Aun con amplias épocas de guerras, se va dando paso a periodos de desarrollo, como la dinastía Ming (1368-1644) en China o la Italia del *Quattrocento* (s. XV). El desarrollo del comercio y el inicio globalizador del s. XVI coinciden con el Descubrimiento de América. Además, también coinciden con la aparición de la imprenta y los desarrollos de la teoría heliocéntrica de Nicolás Copérnico y Galileo entre 1543 y 1632. Finalmente, con la síntesis de los *Principia* de Isaac Newton en 1687, se inicia el periodo de la ciencia que hoy podemos considerar clásica.

El s. XVIII es el de la obra civil, la ingeniería de minas y la máquina de vapor, que generan el desarrollo industrial del s. XIX. La química y la electricidad promueven nuevos productos y tecnologías, de comunicación y movilidad. El s. XX es el siglo de la física, de la energía nuclear, y a partir de 1953 se genera el despegue de la biología molecular que se multiplica en este siglo.

El crecimiento económico y de población en los últimos dos siglos ha generado un desarrollo de la tecnología impresionante. Los avances en movilidad, generación y aplicación de la energía, y sus aplicaciones en campos tan distantes como la agricultura, las comunicaciones o la salud, han cambiado el paisaje de la tierra y la forma de comportarnos.

Los científicos, como agentes importantes en estos cambios, debiéramos conocernos mucho mejor de lo que lo hacemos actualmente. De dónde venimos, por dónde estamos yendo, sabiendo nuestros logros y responsabilidades, y a dónde ir. Los filósofos y la filosofía de la ciencia (y de la ingeniería) han tratado de analizarlo. Ya hemos comentado cómo podíamos considerar que alrededor del año 600 a. C. Tales de Mileto iniciaba la Filosofía de la Naturaleza. Pero en particular, en el pasado siglo XX, los filósofos del Círculo de Viena como Rudolf Carnap, trabajan en el Positivismo Lógico, señalando como conocimiento válido sólo el que se basa en hechos científicos y por otra parte comienza la filosofía analítica (del lenguaje), a partir de Bertrand Russell y, sobre todo, de Ludwig Wittgenstein, lo que va a dar lugar a la Filosofía de la Ciencia que desarrollan Popper y Kuhn.



Ludwig Wittgenstein



Karl Popper

Karl Popper en “La lógica de la investigación científica” (1934/1959) señala que es imposible demostrar la verdad de una teoría científica mediante la verificación empírica, aunque sí se puede considerar verdadera hasta que no sea refutada. Thomas Kuhn en “La estructura de las revoluciones científicas” en 1962 señala que

el avance del conocimiento es intermitente, con marcos de conocimiento o “Paradigmas” que van cambiando.

2.2. Las universidades y las academias

El nombre Academia procede de los jardines dedicados al héroe mitológico Academos, lugar en Atenas donde, además del culto, Platón enseñaba filosofía y ciencia, preparatorias para la dialéctica, alrededor del año 387 a. C. Su discípulo Aristóteles creó su escuela Liceo para compartir conocimiento desinteresado en Assos (347-345 a. C.), en un paseo cubierto “Peripatos”. Pasaron muchos siglos para desarrollarse dos importantes organismos relacionados con estos términos.

i. La Universidad. Surge como actividad formativa y de conocimiento en la edad media a partir del s. XI, a través de escuelas catedráticas y monásticas, aunque a veces se citan otras actividades de enseñanza anteriores como en Constantinopla (340 d. C.) o en Fez (859 d. C.). Las universidades se configuran como gremio o comunidad de maestros y alumnos, y han resultado organizaciones de éxito durante siglos. A partir de la primera, fundada en Bolonia en el año 1088, las universidades se multiplican; la de Oxford es del año 1096. Suelen establecerse promoviendo la formación en filosofía, teología, derecho y medicina, y más con fines docentes que de reconocimiento de una profesión.

En España se suele considerar como primera universidad la de Salamanca (1218), y en América, la Real y Pontificia Universidad de México y la Nacional Mayor de San Carlos de Perú en el año 1551. La Universidad de Oviedo comenzó en el año 1608.



U. de Salamanca (1218)



U. Nal. Mayor San Carlos de Perú (1551)



Real y Pontificia U. de México (1551)



U. de Oviedo (1608)

A partir del s. XVII las temáticas comienzan a evolucionar hacia aspectos más contemporáneos. Las cátedras asociadas a investigación no se establecen hasta bien pasado el s. XVIII, en Cambridge, cien años después de la edición de los *Principia* de Newton. Hasta el s. XIX las universidades fueron un elemento de formación de la élite, y a partir de finales del s. XX se van alcanzando porcentajes de jóvenes formados como universitarios superiores a un tercio.

ii. Las Academias. Se han identificado preferentemente como foros con actividad más directamente de debate, habiéndose reconocido con posterioridad a las universidades. La evolución científica en el s. XVI italiano generó el desarrollo de colectivos de debate (por ejemplo, en Nápoles el *Secretorum Naturae*, 1560) y en

Roma el *dei Lincei* (1600). No se trataba directamente de centros de enseñanza, sino de una actividad cooperativa de coloquio, con gran diversidad de sus miembros.

En Europa, las Academias se establecen a partir de mediados del s. XVII. En 1660 se crea la *Royal Society* de Londres, promovida y reconocida por el canciller Francis Bacon, pero independiente de la corona. Se mantenía por aporte de sus socios (no sólo científicos), habiendo sido Newton su presidente entre 1703 y 1726.



Isaac Newton

La *Académie des Sciences* de Paris fue creada en 1666 como iniciativa del Estado (Luis XIV y Jean Baptiste Colbert), que sostenía las diversas academias. Su objeto era asesorar al gobierno y promover la investigación. Antoine Lavoisier, físico, biólogo y, sobre todo, químico, fue miembro a partir de 1769. Posteriormente, se establecieron muchas academias con diferentes temáticas, también de tipo regional o local.



Antoine Lavoisier

En Estados Unidos la Academia de Ciencias se crea por el Congreso en 1863, y la de Ingeniería, en 1964 por el Secretario Adjunto de Comercio.

En general, las Academias constituyeron organismos de promoción de la ciencia, en paralelo y con distinta dinámica que las universidades, en algunos casos en conexión con el desarrollo industrial. La profesión científica se fue estableciendo en el último tercio del s. XIX, en universidades y centros de investigación, y las academias jugaron también un papel muy importante en ese objetivo.

España cuenta con algunos antecedentes. Así, hubo en el s. XVIII una promoción de la ciencia y, sobre todo, de la ingeniería relacionada con el ejército y patrocinada por la monarquía. Se desarrollaron también las Sociedades Económicas de Amigos del País para difundir las nuevas ideas y conocimientos científicos y técnicos. La Sociedad Económica de Amigos del País de Asturias se estableció en 1780, la Vascongada, en 1763. La Real Academia de Ciencias y Artes de Barcelona se creó en 1764, y la Real Academia de Ciencias Exactas Físicas y Naturales de Madrid en 1847. En el s. XX se crean numerosas sociedades, para la promoción de la ciencia y la tecnología como objetivos institucionales. En España, actualmente, hay más de una docena de Academias de Ciencias repartidas por las comunidades, varias de ellas en Andalucía.

La función de las academias es muy diversa. En sus orígenes eran lugares donde se discutían resultados científicos, que también solían publicarse en revistas científicas, actividad que conservan algunas instituciones, aunque ahora se recurre habitualmente a editoriales especializadas. En algunos países incluso distribuyen fondos de investigación o mantienen centros de investigación. Las actividades más frecuentes en nuestro entorno son:

- i.* Asesoramiento en políticas públicas, informes y participación en comisiones
- ii.* Divulgación y debate de temas científicos específicos
- iii.* Análisis de la situación, evolución y perspectivas
- iv.* Promoción de la ciencia y la ingeniería en diversas formas, por ejemplo, visibilizando su importancia y a las personas u organismos que las hacen.

En cada caso las actividades han dependido estrechamente de los miembros de la Academia y de la confianza que confieran a la sociedad. Como ejemplo, la Federación Europea de Academias de Ciencias y Humanidades (ALLEA), que representa a más de 50 academias de más de 40 países, ha llevado a cabo un amplio trabajo para elaborar códigos de buenas prácticas científicas.

A. Roca Rosell “Las sociedades científicas del IEC: asociacionismo e investigación científica”, *Arbor* 1999; tomo 163, núm. 641, mayo, 61-75 (1999)

Victor García Hoz “La investigación científica y su relación con la Real Academia de Ciencias Morales y Políticas”, *Anales de la Real Academia de Ciencias Morales y Políticas*, núm. 59, 1982 (https://www.boe.es/biblioteca_juridica/anuarios_derecho/abrir_pdf.php?id=ANU-M-1982-10005700083)

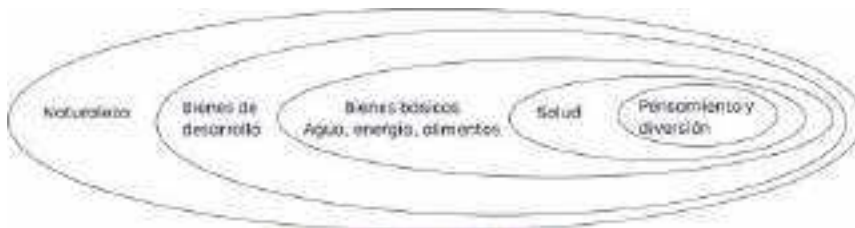
[https://academiaplay.es/academia-platon-liceo-aristoteles/\(ALLEA\) https://allea.org](https://academiaplay.es/academia-platon-liceo-aristoteles/(ALLEA) https://allea.org)

2.3. El entorno en que nos movemos

a. Las necesidades sociales

La importancia de que un país disponga de un buen sistema de Ciencia y Tecnología es tan crítica para su buen desarrollo que precisa de la participación de muchos; de casi toda la sociedad. Se necesita aportar conocimientos que contribuyan al desarrollo personal de cada uno, pero también que desarrollen alternativas, tecnología y productos que permitan el intercambio comercial para que podamos ejercer nuestra vida actual.

En el fondo lo que pretendemos es cubrir las distintas necesidades que sentimos los humanos en cada momento. La disponibilidad de los bienes básicos, agua, alimentos y energía (¿aire en el futuro?), así como la salud, permiten a las personas cierta autonomía para poder pensar con libertad. Los bienes de consumo y desarrollo conforman también aspectos de movimiento social y, curiosamente, de la personalidad. El pensamiento y la diversión puede considerarse como una síntesis y extensión de la persona. La importancia relativa de los contenidos de elipses de la figura ha ido cambiando con el tiempo.



Junto con toda la sociedad necesitamos proveer nuestras necesidades

La sociedad va dando a estos contenidos un interés diferente con el tiempo y, en consecuencia, los esfuerzos y dedicación que se aplican a cada uno. Por ejemplo, el interés por nuestro conocimiento de la naturaleza ocupa ahora un lugar prioritario. Esta importancia relativa influye por supuesto en los temas de investigación y desarrollo, así como también en las estructuras sociales y científicas que se van estableciendo y la relación entre ellas. Los profesores e investigadores nos encontramos en un entorno cambiante, los temas de investigación se modifican y las actividades que se espera realicemos también se van ajustando; en realidad, podríamos decir que se van incrementando.

El consumo es un elemento de peso en la situación actual. Jean Baudrillard, el filósofo inspirador de Matrix, lo cataloga como actividad análoga al lenguaje. Una vez satisfechas las necesidades primarias, el papel del producto es remarcar nuestra personalidad respecto a los demás. Así creamos un símbolo, el Simulacro, que termina siendo más importante que el original, que acaba por sustituirlo. Otro filósofo, Michel Foucault hace hincapié en el poder de los estados sobre la vida de los ciudadanos, con un control generado por nuestros deseos, y que nos vigila

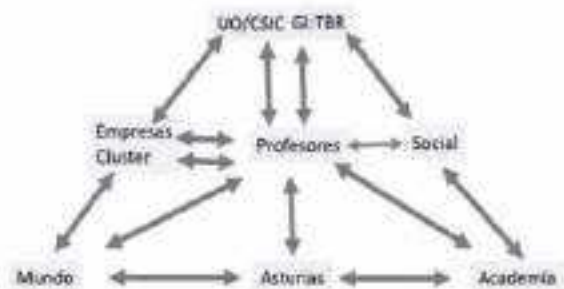
constantemente actuando como un gran Panóptico; todo el interior se puede ver desde un solo punto.

b. El entorno y la Academia

Las personas que trabajamos en ámbitos universitarios, ejercemos nuestra actividad esencialmente en relación con siete conceptos. Cuatro de ellos están en cierto grado soportados por financiación institucional: Docencia, Investigación, Mejora de las instituciones apoyando en la gestión y Transferencia del conocimiento a la empresa o administración. Esta última con reconocimiento mejorable. Hay otros tres menos estructurados, a pesar de su importancia. La **potenciación de la ciencia** es una actividad general que se realiza a través de diferentes entidades: *Sociedades científicas, Academias*, medios de comunicación, entre otros, la mejora de la valoración de la investigación tiene un impacto en las personas y en la sociedad. La **difusión o divulgación** de la Ciencia ha recibido un impulso importante en los últimos años, repercutiendo en la formación científica de las personas y en la capacidad para analizar la situación y la decisión en una sociedad democrática. Está así vinculada a los intereses directos de la *Sociedad*. La tercera de estas actividades, como apoyo al **desarrollo económico** y social, está relacionada con las empresas, por ejemplo, en mi experiencia, con el apoyo a los 'Cluster'.

Estas tres últimas actividades no sólo corresponden a profesores, sino que precisan la participación de otras personas e instituciones, y son actividades en las que las Academias desempeñan un papel importante, y en las que la Academia Asturiana de Ciencia e Ingeniería también pretende colaborar.

La conexión entre las personas e instituciones deber ser fluida, adaptándose a la situación, las capacidades y los intereses. En la figura adjunta se muestran diversas entidades relacionadas con el profesor e investigador, con las que trabaja en formas diferentes. En particular, las Academias como organizaciones que pueden también contribuir a los objetivos señalados en el apartado anterior.



Los profesores en conexión con la Universidad y el Grupo de Investigación:
con la sociedad y Asturias; con las empresas y Cluster; y también, entre otros, con la Academia

Bill Bryson "Una breve historia de casi todo", RBA (2004)

Carlos Solís, Manuel Sellés "Historia de la Ciencia", Espasa (2005)

3. Los Retos Actuales. De Recursos y Productos

Ahora la ingeniería y la industria están empujadas por los temas de sostenibilidad (calentamiento global, contaminación ambiental, diversidad biológica...) y las estrategias consiguientes, la economía circular, la descarbonización o la bioeconomía.



3.1. Las tendencias sociales

a. Los elementos impulsores

Uno de los motores principales del desarrollo económico es el objetivo de procurar atender a los deseos sociales. Atender a estos, aportando los productos que se puedan intercambiar, sigue siendo desde hace siglos acomodarnos a la realidad. Pero los productos que interesan varían cada vez más rápidamente, y, en consecuencia, debemos modificar los recursos y la tecnología para producirlos.

La aparición de la máquina de vapor y el suministro de carbón y petróleo generó un aumento de la energía disponible y, por tanto, mayor facilidad para multiplicar la cantidad de productos que se podían suministrar a toda la población. Bajo este parámetro nunca se había vivido antes mejor. Pero la globalización de la riqueza puede generar una escasez de recursos, posible problema que aún no se ha afrontado de forma clara.

Podemos recordar también que la eficacia de los procesos no llega al 100%, que se generan residuos que contribuyen a la contaminación ambiental y a la acumulación de productos indeseables, al tiempo que se desperdicia una parte de los recursos que no conducen a productos utilizables. Este argumento, bien conocido desde el

principio de los procesos industriales, se ha impulsado en la última década de forma arrolladora bajo el concepto de Economía Circular.

Otro vector ha sido el mayor estudio y conocimiento de nuestro propio planeta de forma global. Entre los años 1930 y 1960 se fue demostrando la disminución de la capa de ozono, que se encuentra entre los 15 y 50 km de altura, y el riesgo que se genera al reducirse la absorción de la radiación ultravioleta. A partir del Protocolo de Montreal firmado por la ONU en 1987 se redujeron los clorofluorocarbonados (y fungicidas del suelo) y se ha ido resolviendo el problema, lo que ha generado también confianza en su capacidad para la resolución de problemas globales de la humanidad.

b. El cambio climático

La diferente absorción de energía radiante, de la radiación solar y de la procedente de la tierra por los gases de la atmósfera, genera un efecto invernadero, factor responsable de la temperatura en la tierra. John Tyndall en 1859 achacó el efecto invernadero a los gases, vapor de agua, CO₂ y metano; y Svante Arrhenius en 1895 calculó que si aumentaba la concentración de CO₂ un 50% subiría la temperatura global en la tierra unos 5 °C. En particular vapor de agua, CO₂ y metano son responsables de alrededor del 90% del impacto.



John Tyndall



Svante A. Arrhenius

El CO₂ es un componente clave cuya concentración en la atmósfera pasó aproximadamente desde 280 ppm en la época preindustrial hasta 415 ppm actualmente. La necesidad de frenar su crecimiento para conseguir que la temperatura global de la tierra no suba más de 2 °C para el año 2050 ha sido objeto de un gran esfuerzo por parte de la ONU en este siglo y es un gran impulsor del cambio industrial y económico, promovándose la **descarbonización**, en particular con la introducción del Mercado de CO₂. La sostenibilidad se ha convertido, junto a la biodiversidad, en condiciones límite de las tecnologías.

La necesidad de disponer de recursos, incluso en una economía circular real, plantea la de definir la procedencia de los recursos que aún se requieran, y ha parecido importante la utilización de recursos renovables, alejándonos de los fósiles, el carbón y el petróleo. La sustitución de estos por los materiales de procedencia biológica requiere el desarrollo de la Bioeconomía.

3.2. La gestión y ahorro de recursos

a. La buena gestión de recursos

Señalábamos que las personas precisamos, al menos: agua, alimentos, energía, salud y entretenimiento. Se necesitará suministrarlos sin agotar los recursos disponibles y generando apenas residuos. A ello responden las distintas opciones sociales y políticas en formas diversas, habiéndose convertido en un elemento fundamental de cada una, con implicaciones muy cruzadas y que influyen en muchas de las turbulencias políticas que vemos en el mundo.

La buena gestión de los recursos requiere al menos una reducción de los residuos o, si se quiere elevar la eficacia de aprovechamiento y la reutilización de materiales, economía circular. Un objetivo inicial, y complejo, sería la mejora de la eficacia de las transformaciones con bajo consumo energético, lo que no suele resultar fácil, la opción de trabajar a temperaturas más bajas en ocasiones puede aumentar las redes de reacciones. En la práctica, las nuevas tecnologías tienen frecuentemente implicaciones diversas. Por mencionar algunas de ellas:

1. La mejora de la gestión tradicional de los residuos debería tener en cuenta su contribución al cambio climático. Por ejemplo, que el relleno controlado para almacenamiento de carbono produce metano, o que el compostaje para tener fertilizante orgánico produce emisiones de CO₂, o que la incineración reduce los combustibles fósiles, pero genera emisiones de CO₂, N₂O y aerosoles. Incluso el reciclaje para recuperar metales, vidrio o plástico ahorrando energía, genera también emisiones.
2. Las herramientas de análisis son cada vez más necesarias. Entre las ya tradicionales se incluye (i) el Análisis de riesgos para reducir los riesgos específicos en el ambiente, que incluye el cumplimiento de normas (*compliance*), la seguridad en el trabajo y la ambiental. Se incluye cada vez más, (ii) el Análisis y Evaluación del ciclo de vida (LCA) para reducir el impacto ambiental global (holístico) que influye en la selección alternativa de procesos, materiales y tecnología, en la mejora de la evaluación y la gestión.
3. Las soluciones deben analizarse de forma global. Por ejemplo, la utilización de microorganismos permite trabajar a temperaturas bajas, aunque puede ocasionar en algún caso riesgo biológico. Los análisis conducen no sólo a cambiar procesos, sino también productos o formas sociales, lo que genera nuevos retos y enfoques para la Ingeniería.
4. La mejora del manejo de recursos requerirá mayor desarrollo tecnológico de la **digitalización** y tendrá un impacto importante en la necesidad y tipo de empleo. Esto es bastante común para toda la diversidad de industrias y procesos, cada una con sus problemas y soluciones diferentes.

Como curiosidad, algunas preguntas al respecto de la mejora en el manejo de recursos:

1. ¿Cómo de perjudicial para el medio ambiente a un plazo medio, serían las personas con el síndrome de Diógenes? 2. ¿Qué deja más residuo: la comida basura o la de autor?, ¿queso blando o curado? 3. ¿Dónde están los residuos mejor localizados: distribuidos o concentrados? 4. ¿Qué son más sostenibles los libros digitales o de papel? 5. ¿Qué tipo de sectores son más sostenibles? 6. Problemas de libertad individual: ¿Qué cosas no debemos hacer? ¿Cuáles no parecen modélicas?

b. La economía circular

El concepto de economía circular, de forma completa, implicaría que todos los productos finales sean comercializables y vendidos. La necesidad de separar los productos, el reciclaje de materiales, la presencia de inhibidores y tóxicos, las reacciones complejas, hacen que de forma general ello no resulte factible, aunque el objetivo principal sea moverse en esa dirección. Si a pesar de todo tenemos un residuo deberíamos procesarlo o buscar a alguien que lo pueda desear. En ese momento podemos preguntarnos ¿puede la sociedad hacer atractivo el uso de cierto material?

La historia de los residuos va asociada a la mejora de la vida y al aumento de la población. Se puede hablar así de algunas normas tanto en Mesopotamia y Egipto como en Roma, y ya en el s. XIII aparecen las primeras ordenanzas. En el s. XIX se comienza a señalar lo importante de reciclar para la salud y que los residuos aportarían materias primas (Justus von Liebig), presentándose el primer incinerador en 1874. En el s. XX con el desarrollo del petróleo proliferan los plásticos y productos químicos, multiplicándose los vertederos. Debemos pues pensar en los cambios que la presencia de residuos va a generar en la nueva economía.

Existe mucha descripción cualitativa de estrategias y formas tradicionales de niveles de actuación para residuos. Habitualmente se mencionan ordenadas las 3R, reducir, reutilizar, reciclar, que se pueden ampliar con otras cuatro, rediseñar productos, reparar, renovar y recuperar. Tratar residuos al final de los procesos con frecuencia no es bueno y tener incluso que transportarlos para su tratamiento exterior, peor, o no sostenible. El rediseño de productos y de plataformas de productos será una línea de presión social relacionada con el gusto y los hábitos de las personas.

No son residuos, son subproductos. Es uno de los cambios semánticos en la base del manejo de residuos. Para su aprovechamiento se plantean diferentes opciones que se pueden clasificar según los tipos de procesos o rutas que se utilizan, según se trate de un residuo orgánico o inorgánico, o también según que se aprovechen los materiales o que simplemente se transformen en energía. Otro tema es la necesidad de ser cada vez más eficaces internamente en la industria. Debemos ir a redes de procesos integradas, aprovechando al mismo tiempo las rutas y procesos más eficaces. Hay muchas propuestas cualitativas, más o menos generalizables para un mejor diseño; por ejemplo, puede ser de interés transformar residuos hacia fase sólida (precipitar, aglomerar...) evitando el paso a productos gaseosos que en el aprovechamiento energético suele producir calentamiento global. En la cadena de

mejora tecnológica se han sucedido muchos avances, uno de ellos fué la introducción hace más de una década de las mejores tecnologías disponibles MTD (Directiva 2010/75/UE).

Pienso que resultan indicativos de los enfoques actuales para la industria, los temas sobre los que el pasado mes de mayo, en el proceso de consulta previa, preguntaba el Ministerio de Industria, Comercio y Turismo para elaborar la nueva Ley de Industria: 1) Política y promoción industrial, 2) Reindustrialización, 3) Neutralidad climática y economía circular, 4) Transformación digital, 5) Seguridad y Calidad Industrial, 6) Gobernanza.

Evidentemente, hay dificultades para la economía circular final. Como se ha dicho, el nombre tiene sobre todo un sentido alegórico, importante para el avance tecnológico. La eficacia no es del 100% y conviene recordar que el coste del aumento de eficacia se hace exponencial, por lo que parece conveniente que lo que se pierde se sustituya mediante recursos renovables. Y, claro, conviene recordar que no resultan adecuadas actividades que fueren circularidades imposibles, o que cambien usos morales en direcciones inadecuadas.

El principio de la economía circular presenta una gran actualidad; Ellen MacArthur, Premio Princesa de Asturias a la Cooperación Internacional del presente año, ha contribuido en particular a la reducción del plástico o a la nueva economía del tejido. Además, tiene un gran desarrollo futuro promovido por una potente normativa legal, en particular a través de la *European Environment Agency* (1). En España se elaboró la Ley de Residuos y Suelos contaminados (2) que se organiza en cinco apartados: *a. Prevenir la generación de residuos, b. Recogida separada y reciclado, c. Restricciones a los plásticos de un solo uso y d. Instrumentos económicos*. Respecto a los Suelos contaminados se promueve un inventario de descontaminaciones voluntarias de suelos (3).

L.T. Biegler, I.E. Grossmann, A.W. Westerberg "Systematic Methods of Chemical Process Design", Prentice Hall (1997)

(1) <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/waste-recycling-1/assessment-1>

(2) <https://www.lamoncloa.gob.es/consejodeministros/Paginas/enlaces/180521-enlace-residuos.aspx>

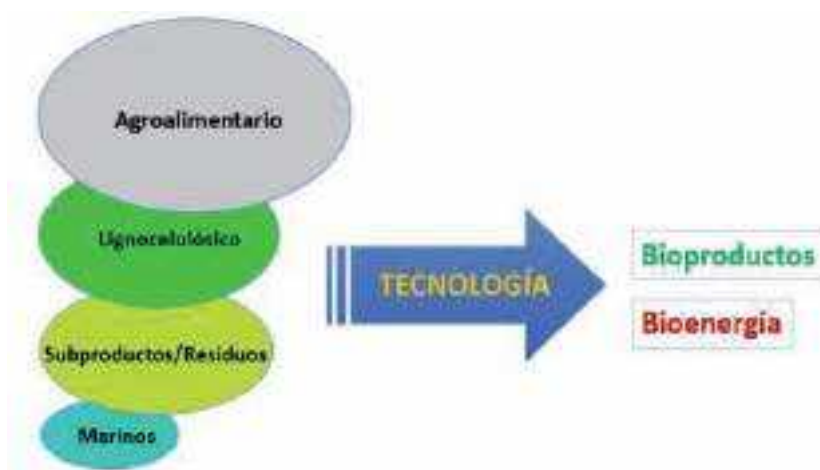
(3) https://ec.europa.eu/environment/strategy/circular-economy-action-plan_es

c. Bioeconomía y Biodiversidad

Como señalaba antes, la consideración de economía circular debería en realidad plantearse en términos de aproximación a la misma: cada vez menos residuos. Pero al hacer el análisis del ciclo de vida, continuará dándonos algún resultado positivo de impacto y se seguirán requiriendo nuevos recursos. La energía parece que podría ser principalmente renovable, solar, hidráulica y eólica. Habrá que ahorrar consumo de energía y materiales y habrá que reintroducir los materiales que se consuman, preferentemente renovables, base de la introducción de la Bioeconomía.

La Estrategia Europea de Bioeconomía de 2012 parte de la consideración de que el futuro humano dependerá de la disponibilidad de agua, energía, alimentos y materias primas industriales. La nueva economía, Bioeconomía, estará basada cada vez más en recursos renovables, y en materiales de base biológica sostenible. De ahí, la necesidad de potenciar la descarbonización con la generación de energía directa, eólica hidráulica y solar. Las guías para esta economía son: 1. Producción integrada y eficiente de alimentación, materiales y productos de base biológica y energía, 2. Cadenas de valor sostenibles y eficientes, 3. Simbiosis de sectores, 4. Cadenas de valor neutras en carbono y 5. Ciudadanos informados.

La Estrategia Española de Bioeconomía, Horizonte 2030, se basa en la europea, no incluye la biomedicina que aparece en alguna otra estrategia y fue publicada en el año 2016. El esquema básico que se señala en la figura, parte de los residuos orgánicos disponibles para la obtención de diferentes bioproductos y energía.



El enfoque de la Estrategia Española de Bioeconomía

La atención a la **biodiversidad** es un tema actual y de futuro, relacionado con la presencia en el medioambiente de residuos y tóxicos. Recientemente se señalaba que casi la mitad del planeta necesitaba protección de la biodiversidad. La Estrategia 2030 para la Biodiversidad es una herramienta importante, en la que se indica que invertir en proteger y restaurar la naturaleza será crítico para la recuperación económica, para luchar contra el cambio climático y para nuestra salud y la seguridad alimentaria. Se considera necesario reducir la contaminación, evitar la entrada de especies invasoras, al tiempo que se promueve la generación de energía sostenible. También se habla de temas como promover la implantación de normativa legal, o el desarrollo de inversiones, o que los no costes al no atender el entorno son en realidad costes a medio plazo.

d. Respuestas a los retos planteados

d.1. Numerosos problemas

Como se ha señalado, los nuevos objetivos sociales generan numerosos problemas tecnológicos que deben ser afrontados, muchos de ellos sobre importantes volúmenes de materiales, pero que se encuentran dispersos. Comentaré sólo algunos de estos problemas que me han resultado más próximos.

i. La pérdida de subproductos alimentarios

- i.1* Se deberían recuperar los productos que contienen. Por ejemplo, las proteínas presentes en materiales lácteos, en huevos o en sangre residual para hacer nuevos productos alimentarios.
- i.2* Se podrían obtener nuevos productos químicos, en particular por fermentación del residuo alimentario o de alguna de sus fracciones. Cabe mencionar entre estos productos el etanol, diferentes ácidos como el láctico y, en particular, por nuestra experiencia, el ácido lactobiónico.

ii. Se necesitan sustitutos de plásticos para envases

El problema de los microplásticos en el medio ambiente requiere, no sólo comenzar por una legislación adecuada, sino disponer de materiales, envoltorios o envases de biomateriales. Para ello, se trabaja mucho en su producción a partir de residuos que contienen, por ejemplo, proteínas, hidratos de carbono, ácidos..., obteniéndose muchos tipos de biomateriales, diversos envases, incluso comestibles o envases activos con aditivos antibacterianos.

iii. Nuevos recursos para la economía circular

La decisión de cómo ir desarrollando la economía circular, en concreto los subproductos (o residuos) a valorizar, presenta muchos aspectos legales y económicos. Para un tratamiento factible económicamente, se requiere disponer de recursos con suficiente cantidad y la calidad, uniformidad, disponibilidad, facilidad de tratamiento y de comercialización adecuados, entre muchos otros factores. Por ejemplo, los lodos de depuradora o el licor negro de papeleras cumplen al menos con el criterio de estar disponibles en cantidades importantes sin estar demasiado dispersos. Cómo tratarlos y qué productos obtener son retos muy importantes.

iv. Se deben conocer mejor los efectos en el medioambiente

La puesta en marcha de instalaciones requiere legalmente realizar una evaluación de impacto ambiental de los procesos a implementar. Y, cada vez más, la sociedad exige evaluar el impacto del uso de los productos que se comercializan. Hace décadas se impusieron los límites de vertido; ahora se analiza el problema más aguas arriba para tener una foto integral del sistema.

v. Desarrollo de nuevas herramientas para procesos biológicos

El tratamiento de nuevos recursos, con distintos nuevos posibles productos, precisa poner en marcha nuevas operaciones, su adaptación y su optimización. En un apartado posterior se tratan nuestros aportes al conocimiento de alguno de ellos. Cabe adelantar como ejemplos, procesos de fermentación en fase líquida; procesos de separación sólido fluido o diversos tipos de reactores líquido gas. La selección de alternativas y caminos hacia donde trabajar es más compleja que trabajar directamente en un tema. Se requiere una gran objetividad en el análisis y sentido común. Me viene a la cabeza la frase de Nikola Tesla «*Se debe estar cuerdo para pensar con claridad, pero se puede pensar profundamente y ser un loco*».

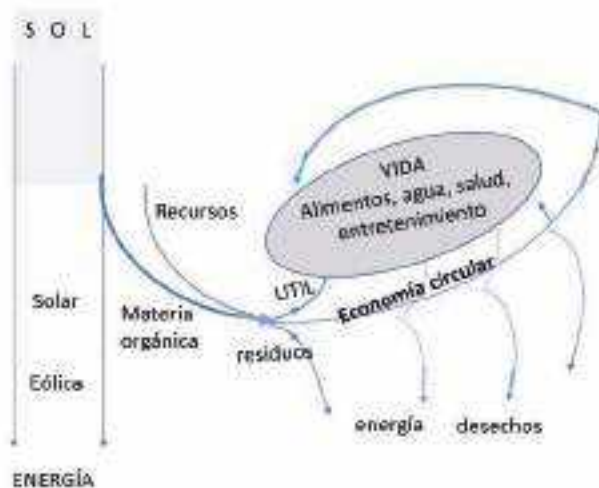
d.2. Uno de los problemas: Aprovechamiento de materia orgánica residual

El aprovechamiento de la materia orgánica residual es un aspecto fundamental en el análisis de la bioeconomía y en el enfoque de la economía circular. La solución depende de la concentración de materia orgánica y de humedad, junto a otras variables, en particular la tecnología disponible. Este es un tema con mucha actividad investigadora y con diversos enfoques económicos y sociales.

Una información inicial es conocer su poder calorífico, que debe superar a los de calentamiento, evaporación, costes de operación y pérdidas de energía. La tecnología de combustión está muy desarrollada para muchos materiales y sirve como base comparativa para estimar el interés de otras soluciones. Los materiales sólidos, con menos cantidad de agua, pueden ser aprovechados por encima de un tercio de materia combustible. La opción de compostar resulta atractiva con materiales complejos y, si es posible, el uso del producto como fertilizante.

El término lodos, se asocia con concentraciones grandes de agua. Contienen habitualmente compuestos muy interesantes bajo el punto de vista de aprovechamiento y de economía circular, aunque su utilidad se ha concretado casi únicamente en el aprovechamiento energético. Unos números ilustrativos: si se considera unos 22MJ/kg como combustible, por ejemplo, con 8MJ/kg de pérdida de proceso, los 1,5MJ/kg agua a evaporar representa una carga importante, que hace que para lodos por debajo de 10% de sólidos (2/3 orgánico) resulte inútil su consideración energética sin ningún pretratamiento.

- Una solución es la concentración de la materia sólida, por ejemplo, mediante centrifugación/filtración o evaporación, incluso secado. La materia sólida resulta más fácil de separar, mientras la soluble puede requerir ósmosis inversa y evaporación en forma análoga a otros procesos industriales.
- Otra solución es separar la materia orgánica en fase gas, previa transformación anaerobia en metano. Con altas cantidades de agua tiene la ventaja de facilitar los procesos de transporte a/desde los microorganismos y la relativamente fácil separación en la fase gas. Se ha planteado su uso esencialmente para producir energía y por tanto CO₂, aunque también podría utilizarse como reactivo químico
- La opción del aprovechamiento de los compuestos presentes en los lodos (proteínas, hidratos de carbono, lípidos...) se encuentra ligada de forma mucho más clara al objetivo de la economía circular, que la opción energética. Está menos explorada y pienso que deberá recibir una gran dedicación en los próximos años. También será una alternativa importante para el aprovechamiento incluso de otros residuos sólidos con mucha menos cantidad de agua, pero que contienen productos recuperables, evitando su transformación en moléculas más pequeñas que podrían no tener más uso que el energético.



La materia orgánica residual debe ser fuente de materiales para la economía circular, más allá del energético.

3.3. La situación actual

a. Todo está cambiando

En España, y casi en todo el mundo, nos encontramos con un buen número de líneas estratégicas que se están desarrollando a partir de consideraciones generales de sostenibilidad, y que se están transformando en estrategias industriales. La descarbonización, promovida en particular a través de las sucesivas reuniones COP (*Conferences of the Parties*, promovidas por la ONU), es quizás la que está teniendo más influencia. La economía circular y la digitalización se han constituido en elementos de promoción financiera primordiales en Europa y la necesidad de un sector industrial resiliente está reflejado también en los logos de las convocatorias. La Bioeconomía y la Economía verde son motores de avance que han ido estableciendo los distintos países y que pasan a formar parte de la infraestructura sociológica a medio y largo plazo.



Algunos objetivos de interés social que conforman muchas propuestas de futuro

La ONU ha contribuido en los últimos 50 años de forma apreciable a la definición de algunas cuestiones de sostenibilidad en el planeta. Aspectos como la protección de las ballenas o las actuaciones para limitar el agujero de la capa de ozono, o los problemas del efecto invernadero están entre sus logros. Las Conferencias de las Partes comenzaron en Río en 1992 con los objetivos de sostenibilidad y en 1997, con el Protocolo de Tokio, se pone la atención en los gases de efecto invernadero (GEI), en particular en el CO₂.

Conferencia de Estocolmo (1972)

[1ª Conferencia de ONU sobre medio humano: Contaminación, ballenas, pruebas atómicas]

Protocolo de Montreal (1987)

[El agujero de la capa de ozono]

Cumbre de la Tierra, Río (1992)

[Define Desarrollo sostenible global. Agenda 21. Nacen las COP: Conferencia de las Partes]

Protocolo de Kioto (1997)

[El clima y los gases del efecto invernadero. Compromiso para reducir los GEI]

Cumbre de París (2015)

[COP-21: Compromiso aumentar sólo 2 o 1,5°C. Pendiente compra y venta de emisiones]

[COP-22: Marrakech 2016. COP-23 Fiji 2017. COP-24: Katowice 2018. COP-25: Chile/Madrid 2019]

Cumbre de Glasgow (2021) COP 26

Algunas Reuniones de la ONU que han contribuido de forma importante a la mejora ambiental de la Tierra; y también a la evolución de la industria

La última reunión, la COP 26 que tuvo lugar en Glasgow, abordó la reducción de gases de efecto invernadero (GEI) a la atmósfera tratando las condiciones en las que se incrementa la temperatura entre 1,5 y 2,5 °C, buscando entre otros efectos frenar el deshielo de los glaciares y los polos. También se consideró de interés el consumo responsable, la economía circular o los posibles refugiados climáticos. Por parte de Estados Unidos se trató en particular el control de las emisiones de metano (30% para 2030) que es el gas responsable del 25% del calentamiento global, mientras que el Reino Unido promovió un acuerdo contra la deforestación.

Los objetivos de desarrollo sostenibles (ODS), elaborados por la Organización de Naciones Unidas (ONU), requieren un comentario aparte. Constituyen 17 campos de trabajo por parte de todos, en particular por las empresas, con el objetivo de alcanzar una sociedad futura sostenible. El nivel de aceptación en el sector económico es además muy elevado, de forma que en las propuestas de nuevas actividades industriales empieza a ser frecuente incorporar las implicaciones que tienen en alguno de los ámbitos de las ODS.

b. Un breve comentario sobre la evolución en España

La **industria** en España a finales del s. XVIII estaba relacionada en buen grado con la tradicional, la militar y el inicio de la minería. En la primera mitad del s. XIX la industria, textil, de bebidas... se ve favorecida por la energía del carbón, la máquina de vapor, desarrollándose dentro del sector químico la industria de explosivos y, conectada con ella, la de fertilizantes. Ello continúa en forma análoga en la primera mitad del s. XX. A partir de los sesenta se desarrolla el aprovechamiento del petróleo y productos derivados, incluyendo otros campos como el farmacéutico o cosmético.

La industria asturiana se fue desarrollando como se ha comentado a partir de mediados del s. XIX. Con el Plan de Estabilización (1959) aparecieron diversas

dificultades, aunque en el franquismo se establecieron en la región nuevas actividades como la de papel o el aluminio, que se añadieron a la de derivados de azufre y metales como Cu, y después de Zn. El crecimiento de la industria de petróleo en los años sesenta no resultó fructífero para Asturias que se quedó sin participación en refinerías y productos derivados como los plásticos. Las grandes limitaciones del presupuesto restringieron el desarrollo de la investigación. Los profesores interesados en procesos industriales se acercaron en formas diversas hacia las industrias buscando colaboraciones. La reducción del consumo de carbón y la dificultad de las industrias con altos consumos energéticos, nos plantea una extraordinaria complejidad ante el futuro.

El momento actual se ha señalado crítico en la transformación industrial de España y de nuestra región. Resultarán importantes las normativas legales y el apoyo económico a las estrategias de conservación de la industria. Las actuaciones políticas a los distintos niveles tendrán impacto crítico en cómo será la industria en 2030 (quizás ahora en 2032), por los campos de actuación y, en particular, por la forma en la que se organice su implantación temporal. A mí me recuerda aquello que nos explicaron de estrategia en lo que se llamaba la mili, “a dónde, por dónde, cómo, cuándo”. Las cuatro son preguntas con decisiones críticas. La introducción de nuevas tecnologías que se pretende, no se podrá realizar en ese momento sin una planificación y apoyo por parte de las administraciones. Por poner un ejemplo que nos afecta en la región, la necesidad del hidrógeno para descarbonización de la industria, en un mercado todavía abierto, requerirá que el coste de ese H₂ no difiera mucho del que tiene el recurso equivalente en la economía actual.

Es evidente la complejidad y la necesidad que tiene el establecimiento de controles ante el hecho de que no todos los países sigan los mismos criterios de descarbonización y, por tanto, de competitividad. El mes pasado se trataba en la Unión Europea la propuesta para reformar el mercado de emisiones de CO₂ en una disputa sobre si alargar o no el periodo de derechos gratuitos del año 2030 al 2034, resultando intermedio. Ello retrasa también el establecimiento del Mecanismo de Ajuste de Carbono en Frontera (CBAM), con las correspondientes implicaciones sobre los productos elaborados. La imbricación de todo ello con el aprovechamiento de los fondos de transición justa y de *'next generation'* es una muestra del complejo problema actual, con implicaciones directas a la pregunta inicial de “en qué vamos a contribuir”. El problema de las diferentes exigencias ambientales en distintos países es mucho más amplio que los industriales tradicionales. Se extiende a los procesos agroalimentarios, los productos ganaderos y los puramente agrícolas, o a las consideraciones sobre transgénicos. La bioeconomía y los bioprocesos jugarán un papel futuro muy importantes.

Cursos de la Granda. Documentación “Apuntes sobre historia y perspectivas de la industria química y de procesos asturiana I, 2, 3 Cursos 2017, 8, 9
FEIQUE <https://www.feique.org/>

Canal YouTube de IQPA: <https://www.youtube.com/>

La evolución **universitaria** es otro aspecto con un gran impacto sobre la realidad de las universidades y de los centros de investigación. En la tabla que se muestra a continuación se señalan de forma resumida las etapas en la evolución de la Universidad en España en las últimas décadas. También en particular para la Ingeniería Química, una de las áreas importantes para formar en la industria de procesos, junto a muchas otras disciplinas que requiere esta industria, la economía, las matemáticas y las distintas ingenierías.

Hasta los años 80. Cátedras. Por ejemplo:

Cátedra XXVIII de Tecnologías Químicas Generales (ETSII)

Cátedra de Química Técnica en Facultades

1983. Paso de Cátedras a Áreas de Conocimiento. P. ej.

Áreas de Ingeniería Química, y de Tecnologías del Medio Ambiente

Se multiplica el profesorado. Se crean grupos.

1986. Ley de la Ciencia. Financiación para investigación. Evolución de Áreas

1991. Modificación de titulaciones. P.ej.

Licenciatura en Ingeniería Química (5 años).

2005. Paso de Licenciaturas a Grados (4 años)

Grado en Ingeniería Química (unos 2500 alumnos)

Se crean los Master Oficiales

2006-10. Ley Omnibus para la defensa de Consumidores y Usuarios

Restringe Atribuciones Profesionales. No reserva de actividad

Algunas fechas de interés para la formación universitaria en España

La definición de las áreas de conocimiento en 1983 abrió paso a las titulaciones en 1991. Su actualización introduciendo los Máster se lleva a cabo en el año 2006, en que se promulga la ley Omnibus que limita ampliamente las atribuciones profesionales, bajo el principio de “no reserva de actividad”.

4. Sobre la investigación en Ingeniería Química en las últimas décadas

Aquel aire entre el resplandor y la muerte se hace sustancia que no alcanzan a borrar los días y los vientos. El contenido de la edad son estos lienzos transparentes.

Signos exactos e incomprensibles. Están en mi con el valor de una llaga; algunas cifras arden en mis ojos

Antonio Gamoneda



4.1. La evolución científica

a. La ciencia

Dice Tomas S. Kuhn en «La estructura de las revoluciones científicas» que la *Ciencia normal* es «... la investigación basada firmemente en uno o más logros científicos pasados, logros que una comunidad científica particular reconoce durante algún tiempo como el fundamento de su práctica ulterior ». Estos logros se recogen después en una forma sintética en libros de texto, ya incluso mucho antes del s. XIX, como el *Almagesto* de Ptolomeo o los *Principia* de Newton. Los libros van definiendo los métodos legítimos de investigación para las generaciones de científicos. Esos logros que llegan a ser estructurados son los *Paradigmas*, que Kuhn señala poseen dos características: La primera que no presentan precedentes por lo que pueden atraer a seguidores alejándolos de otros; y la segunda que son bastantes abiertos como para dejarles problemas a resolver.



Thomas S. Kuhn



Michel Foucault

El estudio de los paradigmas por los estudiantes les ayuda para llegar a ser miembros de la comunidad científica en la que desean trabajar. Parece pues imaginable pensar que en su trabajo difícilmente plantearán discrepancias respecto a los aspectos fundamentales. Así, el compromiso con el paradigma y el consenso entre colegas son un prerequisite en la ciencia normal y en la tradición investigadora. Los ejemplos de la óptica física y de la electricidad hasta el s. XX han sido una buena muestra del establecimiento de los paradigmas.

Las transiciones o revoluciones entre paradigmas resultan difíciles, en ocasiones impulsadas por el cambio en el objeto en el que se hace hincapié, o incluso por serendipia, entre otras posibilidades. Los científicos llegan a ver el mundo muy diferente, pero las implicaciones en la sociedad son mucho más lentas y, en ausencia de una nueva visión, no suele abandonarse la anterior de forma completa. Pero ni siquiera el mayor éxito garantiza que no se produzca la siguiente crisis o cambio, y quizás el lenguaje de la observación, relacionado con la filosofía, ha jugado y puede jugar un papel importante en el futuro.

Posteriormente Kuhn se mueve hacia una especie de evolución de las especies, de los conocimientos, buscando la propia definición de las áreas y señalando la dificultad de comparar teorías si no tienen un lenguaje común (incomensurabilidad teórica). Kuhn era físico, y el enfoque responde a la situación a mediados del s. XX. El desarrollo de la biología en las últimas décadas requiere quizás nuevas propuestas.

Los paradigmas de Kuhn tienen relación con los *Episteme* de Michel Foucault. Estos son el conjunto de las estructuras de conocimiento en una época, que gobiernan las creencias y emociones de las personas. Por ejemplo, señala, considerando personas irracionales a las que no quieren ser fuerza de trabajo, o que están “fuera” del denominado sentido común. Quizás esta consideración a los que están fuera de la fuerza de trabajo es un reto para las indicaciones que hemos hecho de nuestra contribución a la sociedad. La exposición de Foucault concluye que los seres humanos están determinados por la estructura de la sociedad (Estructuralismo) en lugar de por su propia iniciativa, por lo que se acercan a su fin.

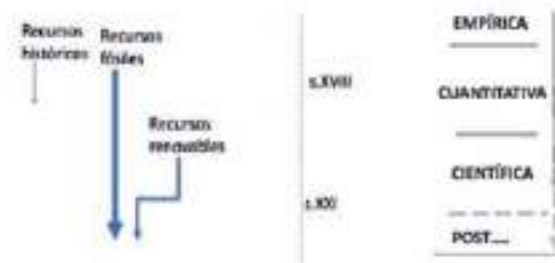
Thomas S. Kuhn “La estructura de las revoluciones científicas”, Fondo de Cultura Económica de México (1962-2005)

b. La Ingeniería

No resulta fácil tratar la historia de la ingeniería separada de la ciencia. En ocasiones, ambas han sido indistinguibles; en otras, la tecnología promueve que se obtengan datos o información fundamental para que se pueda desarrollar la ciencia. Y evidentemente el desarrollo de la ciencia en muchos campos facilitó que la ingeniería crease los productos para la sociedad. De forma simplificada, la ciencia pretende conocer la realidad, la ingeniería dar productos útiles. La evolución de cada ingeniería es diferente, con cambios más o menos rápidos y distintos según la época.

Las ingenierías han solido presentar una primera etapa donde se generaba un producto útil derivado de una experiencia diversa sin base establecida, etapa que se ha denominado como empírica. La necesidad de lograr más eficacia, mayor producción o ahorro de recursos, o simplemente disponer de más datos para hacer predicciones, resulta en un periodo cuantitativo. La presión para conocer, controlar u optimizar más, promueve la penetración mayor de la ciencia, dando lugar a la tercera etapa, la científica. Después de la etapa científica, parece conveniente señalar la opción de una etapa postcientífica en la que cada ingeniería busca con frecuencia su evolución, en particular en la intersección con otras áreas.

En una primera generación, las ingenierías hasta el s. XVIII estaban constituidas por obras públicas y mineras, además de militares. En una segunda generación, ya en el s. XIX, se especializan algunas, como la mecánica, así como la eléctrica y la química a partir de los avances científicos de mediados y finales del s. XIX. Otras ingenierías, como la de comunicaciones e informática, se desarrollan en el siglo pasado.



Una aproximación a la evolución de algunas ingenierías y los recursos energéticos

Las ingenierías de la segunda generación, como la química, tienen una evolución temporal aproximada a la que se indica en la figura anterior. Presentan una coincidencia histórica aproximada a la evolución y transición de los recursos, desde fósiles a renovables.

La tendencia que se muestra a la introducción de más ciencia en las ingenierías tiene otra conclusión evidente. Esto es el mayor **acercamiento** entre la Ciencia y la Ingeniería, que conviene señalar precisamente aquí. Otra consideración es la *aproximación* entre disciplinas que se fueron disgregando con el crecimiento de la ciencia en el s. XIX, generando una nomenclatura diferente en cada una para los

mismos fenómenos, como señalaba Kuhn. Las etapas postcientíficas parecen involucrar mayor integración, eliminando barreras, concentrándose más en metodologías y dejando los conocimientos muy específicos, en todo caso para etapas finales.

Se ha comentado ya anteriormente el peso de los aspectos sociológicos, pero aquí quiero fijar la atención sobre el fenómeno de la digitalización. No resulta difícil ver los cambios que puede aportar a la industria el tratamiento masivo de datos, la robótica, el wifi local o el 5.0, o la realidad virtual, entre otras herramientas que están cambiando el control global de todos los procesos, llegando incluso a su acoplamiento con las necesidades del mercado.

En el campo científico la mayor disponibilidad y el análisis de datos pueden abrir otra forma de avanzar en el conocimiento, sin seguir el principio estricto de hipótesis, experimentación y contraste con resultados, substituido por el análisis dirigido de datos masivos. Y por supuesto también tendrá un impacto importante en la educación.

c. Ingeniería Química

La evolución de la ingeniería ha sido ya presentada en el contexto general. De forma específica, como se explicó anteriormente (2020), el paso del periodo empírico al cuantitativo se puede relacionar con la extensión de los balances de materia y energía. Por su parte, el paso al periodo científico se conecta con la evolución desde la ingeniería de transporte a la ingeniería de proceso mediante el análisis de los procesos con la metodología de distribución de tiempos de residencia, así como con el incremento de la física y los Fenómenos de transporte. El paso a la etapa Postcientífica podría focalizarse en la introducción de Sostenibilidad, nuevas energías y Bioprocesos.



Algunas etapas de la evolución de la Ingeniería Química

El incremento del contenido científico físico podemos relacionarlo con la introducción estructurada de los principios físicos básicos: conservación de materia global (y específicamente a cada especie), de la energía y la cantidad de movimiento, que se señalan a continuación. Los otros dos principios físicos, el de momento cinético se transforma en la exigencia de simetría del tensor esfuerzo, y el de desigualdad de entropía en la de valores positivos para la viscosidad y la conductividad térmica.

Conservación de materia global	$\frac{D\rho}{Dt} = -\rho(\nabla \cdot \mathbf{v})$
Variación de materia	$\rho \frac{Dm_k}{Dt} = -(\nabla \cdot \mathbf{j}_k) + r_k$
Cantidad de movimiento (Navier Stokes)	$\rho \frac{D\mathbf{v}}{Dt} = -\nabla p - (\nabla \cdot \boldsymbol{\tau}) + \rho \mathbf{g}$
Conservación de energía	$\rho \frac{D}{Dt} \left(\bar{U} + \frac{1}{2}v^2 \right) = -(\nabla \cdot \mathbf{q}) - (\nabla \cdot p\mathbf{v}) - (\nabla \cdot [\boldsymbol{\tau} \cdot \mathbf{v}]) + (\rho\mathbf{v} \cdot \mathbf{g})$

Cuatro ecuaciones básicas para analizar los procesos de Ingeniería Química a escala microscópica

En los últimos años se ha ido señalando la importancia en Ingeniería Química de diversos temas generales, entre ellos:

- El interés por la Ingeniería de Producto, concentrándose en la importancia del mercado, la economía y la innovación continua.
- La importancia creciente de los materiales y productos multidisciplinares en la búsqueda de acoplar ventajas de distintos campos, evitando barreras externas.
- Crece el interés por los procesos discontinuos lo que por un lado vuelve a algunos aspectos involucrados en la formación inicial la Ingeniería Química, y por otro se manifiesta en una mayor proximidad con la investigación básica.
- La importancia creciente de la seguridad y la ética, que se extiende al interés por las corrientes sociales y filosóficas.

El último paso señalado antes hacia la etapa postcientífica incorpora la importancia de la energía y la sostenibilidad, como he indicado al tratar las nuevas tendencias o exigencias sociales. Además, los desarrollos biológicos a partir del descubrimiento del ADN en 1953, se han ido trasladando de forma sucesiva a los campos médico, alimentario, producción industrial, tratamientos y conservación medioambiental. Se indica en la figura siguiente una visión propia de la evolución en estos temas.



La evolución de la Ingeniería Química en el campo de los Bioprosesos

Los cambios en el futuro parece que presentan así unas reglas más complejas. Incluyen el desarrollo de nuevos materiales, en particular de biomateriales o toda una serie de objetivos en las líneas de sostenibilidad señaladas en el Pacto Verde Europeo, incluyendo la Digitalización. Además de la salud para todos. Estamos también inmersos en la necesidad de la introducción del hidrógeno en muchos procesos industriales. Debemos seguir lo que Garganta Profunda (W. Mark Felt) dijo a Bob Bernstein en 1972 con motivo del Watergate “seguir la pista del dinero”.

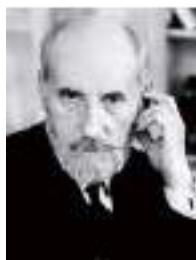
Parece que el sector industrial se ha hecho cargo del impacto que estos movimientos están produciendo. Creo inevitable la pregunta de si en el mundo universitario, y en general en el investigador, somos conscientes de esos cambios.

4.2. La investigación en España

*Cuesta más conocer que no saber
continuar que iniciar,
más ilusión y compromiso,
cada nuevo camino es más empinado
y la naturaleza acaba por vencer.*



Isaac Peral



Santiago Ramón Cajal



Severo Ochoa

a. General

La importancia de la investigación es un mantra que se ha venido repitiendo durante años en los medios de comunicación y por todos los políticos. No estoy seguro de que la mayoría de la población sea consciente y realmente partidaria de ello. Me refiero a que en el orden de prioridades de gasto, que necesariamente se debe hacer, se coloque por encima de otros temas también importantes, como el gasto social, hacer carreteras o la salud. Además, los gastos en investigación deben planificarse de forma muy cuidadosa, dotarlos de una buena gestión y, por supuesto, difundir adecuadamente a la sociedad su bondad. No me parece que tengamos mucho éxito en ello.

La investigación es también una alternativa profesional que merece la pena. Para el caso de que haga falta animar a quienes tengan dudas sobre si dedicarse o no a la investigación, destacar que:

- Resulta alentador afrontar los problemas que se plantean, y justifica el esfuerzo de ver cómo resolverlos. Los temas que se tratan son muchas veces objetivos importantes para la humanidad, lo que es aún más incentivador.
- La interacción entre ciencia e ingeniería, entre conocimiento y aplicación, es cada vez mayor, lo que es atractivo para muchas personas.
- Es divertido, capta nuestro interés y nuestro programa vital de forma importante. Es una forma atractiva de cumplir con nuestra contribución a la sociedad.

Se ha analizado de forma repetida cómo la investigación promueve el desarrollo de la sociedad, dando un rendimiento elevado en relación con el gasto, si se asegura una buena organización. Pero no debemos olvidar que se requiere planificación, organización y gestión de las personas facilitando la libertad y la excelencia. Al mismo tiempo se precisa un enfoque temático acertado.

La evolución de los temas de investigación ha rendido cuenta a muchos factores, uno principal podría ser las necesidades sociales, lo que es entendible al considerar la importante financiación que se requiere. Este factor se manifiesta sobre todo cuando se decide financiar grandes estructuras de investigación para problemas especiales. Pero al mismo tiempo es importante mantener otros temas que se generan por los investigadores de forma individual o en pequeños grupos, con independencia y excelencia. La visión general es trabajar con una ponderación adecuada de ambos, que va cambiando con la situación económica y sociopolítica, incluyendo en su caso, por ejemplo, el impacto de una guerra. Los intereses personales en los diversos grupos, como pueden ser los mecanismos de avance profesional, juegan también un papel muy importante.

En los centros de investigación las capacidades, experiencia y el tamaño de los grupos, o la disponibilidad para la adaptación a las nuevas exigencias son críticos. En el año 2002, el Vicerrectorado de Investigación de la Universidad de Oviedo elaboró un breve, pero muy interesante, estudio de la productividad por profesor de los grupos de investigación. Observó que los grupos de muchos profesores daban

peores resultados, quizás debido a la dificultad de gestión, y que tampoco los excesivamente pequeños resultaban los más eficaces. Esta era una evaluación promedio que presentaba resultados muy diferentes en algunas áreas de conocimiento, como puede ser las del campo de las humanidades.

En España, a partir de la ya señalada ley de la Ciencia de 1986, el dinero público para investigación comenzó a crecer de forma clara, al tiempo que aumentaba ostensiblemente el número de profesores e investigadores. Globalmente las empresas no han visto la rentabilidad de su inversión en investigación, por lo que su participación es aún escasa. Los campos que se han ido promocionando han sido sobre todo los provenientes de la adaptación a los temas prioritarios europeos, junto con los temas recogidos habitualmente en revistas internacionales. También ha existido un mantenimiento de áreas de trabajo tradicionales y cierta influencia de algunos temas industriales específicos. La gestión de los fondos se considera de excesiva complejidad administrativa y su aplicación temática no ha sido en ocasiones eficiente, como se pudo ver en algunos grandes programas a principios de este siglo.

b. Los temas en Ingeniería Química

Para dar una idea de cómo han ido cambiando los temas habituales de investigación, se indica en la siguiente figura, de forma muy simplificada, cómo he percibido su evolución en el área de Ingeniería Química en España en las últimas décadas.

- 60-70: Puntuales empresas.
Propiedades termodinámicas
- 70-80: Parámetros separación.
Constantes cinéticas para reactores
- 80-90: Catálisis, modelización
Tratamiento de aguas
- 90-00: Materiales, alimentarios,
bioprocesos
- 00-10: Tratamiento de residuos,
microbiología/bioquímica, salud

Temas habituales de investigación en Ingeniería Química, en las últimas décadas, en España

En este campo de la Ingeniería Química es bastante frecuente la adaptación de los grupos de investigación a los temas de interés industrial y social, en ocasiones regional, aunque también los hay que mantienen sus temas durante décadas sin mucho cambio. En nuestro caso estaríamos más próximos al primer tipo, partiendo siempre de nuestras capacidades teóricas e instrumentales básicas. A grandes rasgos, los temas que hemos tratado se pueden clasificar según se indica en la tabla siguiente.

Evolución de los temas propios

1. Ingeniería Química Básica
2. Separación sólido-fluido
3. Reacciones y reactores
4. Ingeniería de Bioprocesos
5. Etica ambiental
6. Biomateriales
7. Alimentación
8. Bioeconomía

Grandes temas propios de investigación propios, y también comunes en España
(www.unioviedo.es/TBR)

En la sección siguiente se irá mostrando la evolución en estos temas a lo largo de, aproximadamente, cinco décadas. De forma específica en cada década se irá señalando, de forma breve, la situación bibliográfica de cada tema indicando algunas personas de referencia, en particular si he trabajado con alguna de ellas. Después señalaré en una tabla las contribuciones al conocimiento que hemos realizado para, finalmente, comentarlas brevemente.

4.3. Como lo he visto y lo he vivido

*La existencia se vive y se dedica
se dirige o nos la llevan
cerrar los ojos y salvarnos
pasar o actuar, fue la vida.*



En los años cincuenta y sesenta del siglo pasado, al tiempo que se desarrolló la petroquímica, se realizaron importantes trabajos sobre reacciones en fase gas con catalizadores inorgánicos, muchos en base sílice, alúmina y metales. En España, la evolución se produjo sobre todo un par de décadas después. En los años sesenta apareció la teoría de las reacciones fluido/fluido y su cinética, también de interés

para el sector del petróleo, por ejemplo, para la absorción de CO₂ por aminas. En los reactores se introdujeron los conceptos de análisis de procesos a partir de la fluidodinámica, introducidos en los años cincuenta por Danckwerts.

El tratamiento de aguas se había mostrado muy importante para la potabilización de aguas urbanas y para la preparación de aguas industriales, por ejemplo, para calderas mediante intercambio iónico. El tratamiento de aguas residuales, con diversos tratamientos biológicos y biorreacciones con poblaciones mezcladas se estableció a principios del s. XX, en España de forma amplia en los años setenta y ochenta. Los procesos con microorganismos individuales siguen siendo una excepción en este campo, aunque son procedimientos estándar en producción microbiana, salud y alimentación. Cuando se quieren modelizar sistemas de forma completa, se requiere el conocimiento de la hidrodinámica y el desarrollo de las técnicas de CFD (fluidodinámica computacional). La importancia de los conocimientos biotecnológicos que se iban desarrollando representó un reto para su aplicación en campos diversos, uno de ellos fue en la tecnología de alimentos, para obtener nuevos productos o para la separación de proteínas residuales alimentarias y para la modelización de los bioprocesos.

En la última década se ha establecido la importancia de la sostenibilidad, los objetivos de desarrollo sostenible, la bioeconomía y la economía circular. Resulta así relevante, por ejemplo, conocer la hidrólisis de macromoléculas para el aprovechamiento de residuos orgánicos, en particular lignocelulósicos, o entre otros, disponer de biomateriales con un nivel adecuado de biodegradación evitando el problema de microplásticos, o también la obtención biológica eficiente de productos tradicionales y nuevos. Esta evolución ha sido bastante común a muchos investigadores en Ingeniería Química (IQ).

Investigar en estos campos ha sido una de mis contribuciones a este mundo global.

El resultado es la evolución de más de 45 años trabajando en los centros en los que obtuve una plaza de profesor que se indican a continuación, de forma más real en las Universidades del País Vasco y Oviedo.



F. Ciencias U. Oviedo
1975-1981



U. Polit las Palmas
1981



U. País Vasco
1981-1987



F. Química U. Oviedo
1987-2022

Un pequeño resumen personal de los temas que he ido tratando en casi cinco décadas, y que desarrollaré de forma más detallada en los siguientes apartados, se recoge en la tabla adjunta. En general, se manifiesta un interés por las reacciones gas/líquido y por procesos de separación sólido/líquido, produciéndose una

evolución en ambas operaciones hacia materiales biológicos, con aplicaciones en sostenibilidad, producción biológica y alimentaria.

- a. La década de los ochenta Reactores G/L
Forma de flujo
Bases de IQ
- b. La década de los noventa Intercambio iónico
Tratamiento de aguas
Fermentación en fase líquida
- c. El cambio de milenio Hidrodinámica multifásica
Modelizar sistemas fermentativos complejos
Oxidación de aguas residuales
- d. La primera década Nuevos materiales y procesos de separacion
Modelización de bioprocesos
Preparación de alimentos
- e. La segunda década Hidrólisis de macromoléculas y separaciones
Preparación de biomateriales y nuevos productos
Impactos ambientales

Evolución de temas y contribuciones de investigación propios en casi 5 décadas

a. La década de los ochenta del s. XX

- Cinética y reactores Gas / Líquido

Los primeros estudios de cinética química proceden de mediados del s. XIX, siendo pionero el estudio de la inversión de sacarosa por Ferdinand Wilhelmy (1850), proponiendo la cinética de primer orden. A principios del s. XX se estudia en reacciones en fase gas, aprovechando la teoría bien establecida de gases ideales. La introducción de la ecuación de Michaelis Menten para reacciones enzimáticas, con forma análoga a la adsorción fluido/sólido de la ecuación de Langmuir, representaron un gran avance en la segunda década del siglo. El desarrollo de la petroquímica al final de la tercera década, aumentó la importancia de las reacciones heterogéneas catalíticas en fase gas y también su análisis. La integración de la ecuación de variación de materia en sólido poroso en estado estacionario, considerando la reducción de la concentración de reactivos al avanzar por difusión, sin convección, a través de los poros por reacción heterogénea, dió lugar a la gráfica del Módulo de Thiele vs Factor de eficiencia, que se ha difundido y extendido posteriormente en muchas aplicaciones.

Para reacciones con difusión hacia fase líquida, dada la mayor complejidad convectiva en esta fase, el análisis de la cinética fué más lento, hasta que se introdujo como transferencia de materia con reacción química simultánea. El congreso de reactores de 1959 fue un buen punto de encuentro, con nombres como

van Krevelen, que desarrolló su gráfica como Número de Hatta vs Factor de mejora (por la reacción respecto a la absorción) lo que constituyó un importante avance. Giovanni Astarita desarrolló y recopiló muchos avances en su libro "*Mass transfer with chemical reaction*". Giovanni era un italiano divertido y con muchos recursos, el *arrivederci* Roma le salía del alma. En 1976 participó en uno de los cursos de Euechem organizado en el Palacio de la Magdalena de Santander, al que debíamos asistir con traje/corbata, así que sin dinero para quedarnos en las caballerizas del Palacio, disfruté con mi amigo Ricardo yendo a un camping al que llegábamos de corbata y salíamos en traje de baño, todo un lujo.

El libro de Astarita fue extendido y mejor organizado por Peter Danckwerts en su obra "*Gas Liquid Reactors*" donde presentaba de forma más clara y brillante el análisis de la cinética de reacciones G/L, incluyendo el análisis con las tres teorías de interfase ya tradicionales y definiendo los regímenes de reacción. Este libro sigue siendo referencia en el campo. Un recuerdo personal de mi estancia postdoctoral con Danckwerts en Cambridge, y también en Nancy con Jean Claude Charpentier que trabajó analizando la teoría y en la obtención de numerosos datos experimentales, y que fue Presidente de la Federación Europea de Ingenieros Químicos.



Giovanni Astarita



Peter V. Danckwerts



Jean Claude Charpentier

- La forma de flujo

He comentado anteriormente cómo Peter Danckwerts tuvo una contribución seminal en el paso de la Ingeniería Química a disciplina científica. Las ecuaciones de variación de materia y de energía son la base para determinar los perfiles de concentración y temperatura y, por tanto, para conocer la eficacia de una operación de transferencia de materia o transmisión de energía. Ambas ecuaciones tienen un término convectivo que incluye la velocidad, y que si no se conoce el proceso sería una caja negra. No se podía hablar de Procesos, sólo de transportes entre Procesos, ya estudiados en otras ingenierías. Danckwerts introdujo la primera forma de analizar el interior de Procesos (por ejemplo, un plato de destilación, un cambiador de calor o un reactor) mediante la Distribución de Tiempos de Residencia (DTR).

D.W. van Krevelen, P.J. Hoftijzer "Kinetics of gas-liquid reactions. Part I. General theory", Recueil des Travaux Chimiques des Pays Bas. 67, 7, 563 (1948)

Giovanni Astarita "Mass Transfer with Chemical Reaction", Elsevier, London (1967)

Peter V. Danckwerts "Gas-Liquid Reactions", McGraw Hill, NY (1970)

Su trabajo publicado en Chemical Engineering Science en 1953, es uno de los elementos iniciales de la Ciencia de la Ingeniería Química. Peter Danckwerts me acogió en su laboratorio en 1980 donde trabajé en la analogía entre N_2O y CO_2 , importante para la modelización de la absorción de aminas, que se publicó, y en el análisis experimental del factor de renovación de la teoría de penetración de interfase, donde obtuvimos buenos datos que quizás algún día publique (Danckwerts falleció en 1984). Diversas ampliaciones del análisis de DTR fueron realizándose posteriormente, así Zwietering introdujo el grado de mezcla y la segregación en 1959.



Peter V. Danckwerts



En los años 70 se comenzó a aplicar la DTR al diseño de reactores, en particular de lecho fijo en petroquímica, y se extendió a continuación a lechos fluidizados. Los libros de texto, por ejemplo el de Octave Levenspiel, o mucho después H.Scott Fogler, difundieron la importancia de la forma de flujo y de la DTR en reactores. La extensión a operaciones de transferencia de materia o energía ha sido mucho más escasa, y más reciente. Todavía hoy día son pocos los libros que al hacer balances de materia y energía incluyen desde *el principio* la forma de flujo o, por ejemplo, no señalan que el diseño de la mayoría de los cambiadores de calor se suele basar en forma de flujo tipo pistón.

- Bases de Ingeniería Química. Fenómenos de transporte

El otro avance en la Ingeniería Química a finales de los años cincuenta es la organización de contenidos de fenómenos de transporte, en forma análoga para cantidad de movimiento, calor y materia. El libro de Bird, R.B, Stewart W.E. y Lightfoot E.N. de 1960 es un hito en la materia, cuya validez continúa con pocas modificaciones en la actualidad. Los principios físicos básicos en que se basan se aplican a continuación a diferentes operaciones o procesos, en campos como el alimentario o el químico.

P.V. Danckwerts "Continuous flow systems: Distribution of residence times", Chemical Engineering Science, 2,1,1 (1953)

Th.N. Zwietering "The degree of mixing in continuous flow systems", Chemical Engineering Science 11,1, 1 (1959)

El enfoque planteado es general, su resolución analítica en forma exacta es frecuente para operaciones en fase sólida. En presencia de fases fluidas, muestran el enfoque completo con algunas soluciones, sobre todo aproximadas, importantes por el contraste experimental que se ha podido realizar. Bird señalaba en una conferencia en Oviedo, la contribución fundamental de la Mecánica de Fluidos en la constitución de la Ingeniería Química como disciplina diferenciada de la Química. Lightfoot se dedicó posteriormente, sobre todo, a su aplicación a procesos biológicos.



De izquierda a derecha R. Byron Bird, Warren E. Stewart y Edwin N. Lightfoot

Se indican a continuación algunas de mis contribuciones científicas durante este periodo

Tabla 1. Contribuciones científicas en la década de los ochenta

Año	Contribuciones científicas	Referencias
1981	Establecer la analogía entre CO ₂ y N ₂ O para reacciones G/L	Chem. Eng.Sci. p.228
1984	Determinar la hidrodinámica en columnas de pulverización	Canad.J.Chem.Eng.p.617
	Efecto de oxidación superficial sobre la flotación de carbones	Fuel p.1466
1985	Modelo para la disolución de caliza	Chem.Eng.Tech.p.882
	Análisis de sistemas Gas/Líquido/Líquido y su hidrodinámica	Chem. Ing Tech.p74
	Medida de la reducción de evaporación por cosméticos	Cosmética&Aromat.p.11
	Relación entre composición de zumos de zanahoria y su reología.	Canad. Inst.Food Sci.T.213
1986	Elaboración de modelos para la congelación de zumos	Anales Quim. p.386
	Primeros modelos heterogéneos en alburas para bombas de aire	Latinoam. J. Chem Eng 335
	Descripción del transporte de metales en el sistema raíz-tallos de plantas	Water Air Soil Poll. p.1
1987	Nueva correlación para la difusividad en sistemas gas-líquido	Chem. Eng.Commun. p.271
	Se introduce por primera vez la dispersión axial en cambiadores calor	Hydroc. Processing p.57
	Modelos completos para liofilización	Vacuum Sci&Tech. P.473
	Redistribución de solutos en la congelación de soluciones acuosas	Cryoletter p.244
	Cinética de oxidación catalizada de antraceno en fase líquida	Ind. Eng.Chem. p.2491
1988	Análisis crítico de la fermentación extractiva	Trends in Biotechnology 126
	Efecto del tamizado en los tratamientos anaerobios	Hemisph. Pub.Alter. Energ. 877
1989	Diseño de reactores (n. instantáneas) con dispersión en las dos fases	Anales Quimica p.530
1990	Uso de intercambio iónico para recuperar metales de hidrometal. de sulfuro	Hidrometalurgia p.818
	Modelos para catálisis por transferencia de fase (PTC)	Afinidad p.105

R.B. Bird, W.E. Stewart, E.N. Lightfoot "Transport Phenomena", John Wiley Sons, London (1960)

E.N. Lightfoot "Transport Phenomena and Living Systems: Biomedical Aspects of Momentum and Mass Transport" (1974)

Comentaré en forma breve alguna de las contribuciones de tipo científico recogidas en esta tabla. El diseño de reactores G/L requiere disponer de parámetros básicos como la difusividad para lo cual, después de obtener nuevos datos, se elaboró una nueva ecuación de predicción de difusividades de gases en fase líquida. También, para predecir la difusividad de CO₂ en soluciones reactivas como las aminas, para lo que se propuso y justificó la analogía con N₂O que no era reactivo.

Se requiere conocer la cinética de reacciones de interés industrial para hacerla disponible en la bibliografía. Así se describió la oxidación en fase líquida de antraceno, el impacto del tamizado en el tratamiento global anaerobio de residuos y asimismo se elaboraron modelos cinéticos para las reacciones de transferencia de fase (*PTC*). El análisis global del acoplamiento de la fermentación alcohólica con la extracción *in situ* del inhibidor etanólico, permitió focalizar la importancia práctica que podía tener en la producción de bioetanol.

Conocer la forma de flujo y la hidrodinámica son previos a los cálculos de la eficacia. Hemos podido describir la fluidodinámica en las columnas de pulverización, que estaban muy poco analizadas, y también fue importante la descripción de la fluidodinámica de sistemas trifásicos gas/líquido/líquido (GLL') en columna. También se describió la existencia de heterogeneidad a lo largo de las columnas de bombeo por aire, solapándose distintos regímenes. Además, en 1989 se publicó la modelización de reactores con dispersión en dos fases. También, por primera vez, se introdujo la dispersión axial en el diseño de cambiadores de calor.

Se han realizado también algunas contribuciones de distinta importancia en áreas básicas. Así, se elaboraron modelos para la redistribución de solutos en la congelación de zumos, así como su reología, la reducción de la evaporación con la colocación de películas líquidas en una superficie acuosa y la modelización de la operación de liofilización, ya sobre las muestras congeladas.

Algunas características superficiales resultan clave en muchas operaciones básicas. Por ejemplo, al demostrar el impacto de la oxidación superficial de partículas sobre la flotación o la reactividad de la caliza en medio ácido, dando lugar a un modelo cinético con base en la superficie de las partículas. Se pudo también experimentar con éxito el uso del intercambio iónico para la separación de algunos metales pesados, cuya separación resultaba compleja por extracción líquido-líquido.

Finalmente, otro tema interesante fue la aplicación de métodos tradicionales de Ingeniería Química, como la transferencia entre etapas, al sistema suelo-raíz-tallo durante el crecimiento vegetal, en el flujo ascendente promovido por la evapotranspiración. Se obtenía la evolución de metales en las etapas del sistema, con un impacto tóxico diferente para distintos metales pesados. El modelo resultaba bastante sólido para su aplicación en otros sistemas.

b. Alrededor de los años noventa del s. XX

- *El intercambio iónico*

La operación de intercambio iónico ha estado desde hace décadas muy extendida para la desmineralización de agua, por ejemplo para las calderas de centrales térmicas. En los años cincuenta y sesenta recibió nueva atención para la obtención de combustibles nucleares y para operaciones mineras. En el campo del análisis despertó un gran interés, en sí mismo, o como operaciones análogas de adsorción. Su interés se extendió después para operaciones industriales, compitiendo con otras como la extracción líquido/líquido. Así se estableció de forma estándar como operación de trabajo en columna. En los años ochenta surgen con fuerza las operaciones de membrana basadas fundamentalmente en la separación por el tamaño de las moléculas. Éstas se extienden con gran éxito en la competencia con el intercambio iónico, operación más basada en la interacción química y que se ha potenciado para objetivos de purificación.

En los años sesenta, Friedrich G. Helfferich sentó las bases teóricas de la operación de intercambio iónico en su libro «*Ion Exchange*», que sigue siendo sesenta años después, una referencia no superada para muchos aspectos de análisis científico básico. Le recuerdo en un curso sobre este tema que se impartía en un hotel de Troia (Portugal) dentro de los Nato Advanced Study Institute, y a mis hijos entrando en el hotel gritando OTAN no bases fuera. También recordaré siempre cuando su mujer, experta en Historia, me preguntó sobre algunos detalles de los reyes de Navarra y de los reyes godos, que no pude responder. Cuando nos libramos de estudiar o trabajar en algún tema, a veces lamentamos no haberlo hecho.



Friedrich Helfferich

Theodore Vermeulen, Gerhard Klein, Daniel Tondeur o, posteriormente, Michel Sardin han sido algunos investigadores importantes en este campo. El mencionado curso en Troia, junto con algún otro, fueron organizados por Alirio Rodrigues, que

F. Helfferich “*Ion Exchange*”, Mc Graw Hill NY (1962)

contribuyó de forma muy particular, junto a Giorgio Carta, al análisis de la convección que se puede producir en el interior de los poros al tiempo que la difusión. La concesión de un proyecto europeo, el primero que tuvo la Universidad de Oviedo, que coordiné con Alirio sobre bombeo paramétrico en intercambio iónico, facilitó la colaboración y la amistad, así como una fructífera estancia posterior de Alirio en Oviedo.



Alirio Rodrigues

- Procesos en el tratamiento de aguas

El tratamiento de aguas residuales ha sido un problema muy importante en los últimos cien años en Europa. Los procesos hidrometalúrgicos se acoplaron inicialmente con los propios de extracción minera, multiplicándose posteriormente con la separación de sólidos y después de metales. Las industrias de metales pesados y después de metales nobles, han requerido afinar procesos de concentración y también de separación. El intercambio iónico se aplicó de forma importante a nivel industrial, aunque quizás ha sido más extensa la aplicación de la extracción líquido/líquido.

Los procesos físico-químicos tienen una evolución histórica amplia, pero los procesos biológicos seguían siendo hasta hace unos 40 años una caja negra. Para el tratamiento de la demanda química de oxígeno y de la materia nitrogenada se fueron desarrollando sistemas microbianos cada vez más sofisticados, involucrando microorganismos de más baja velocidad de crecimiento.

El libro de Metcalf y Eddy, junto con los *Standard Methods*, constituyen desde hace décadas un buen punto de partida para el tema. En la década de los ochenta se desarrolló el tratamiento de aguas industriales, con importantes contribuciones de James W. Patterson, que en Oviedo nos llevó a fijarnos en los detalles de los componentes de los procesos y sus formas de operación, porque influyen en la eficacia de manera decisiva, por ejemplo, los desagües de sedimentadores.

A. Rodrigues (ed) "Adsorption: Science and technology: [Proceedings of the NATO Advanced Study Institute on Adsorption: Science and Technology, Vimeiro, Portugal, July 17-29, 1988]", Kluwer (1989)

Metcalf & Eddy Inc. "Wastewater Engineering. Treatment and Reuse" 5th Ed. McGraw Hill, NY (2015)



Vertedero de sedimentador de tratamiento de aguas

- Procesos de fermentación en fase líquida

Las fermentaciones o biorreacciones han sido bastante utilizadas en fase sólida hasta la primera parte del s. XX. Posteriormente, crecieron las fermentaciones en fase líquida, sobre todo en tres campos: biorreacciones industriales, alimentarias y tratamiento biológico de aguas. Estas tres áreas han sido los caminos por los que se ha ido introduciendo la ingeniería en el campo de las Biorreacciones como etapa básica de los Bioprocesos, en particular a partir de los años 80 en España. Existe un cuarto tema, el de los procesos biomédicos, en los que apenas se ha empezado a trabajar en España en la última década.

i. En los años 40 comienza el desarrollo de biorreactores en fase líquida, estudiado en particular por los microbiólogos. La necesidad de disponer del control de temperatura, mezcla, pH y nivel de oxígeno para grandes volúmenes de reacción ha mostrado la importancia de los ingenieros, a partir de los años 60. Bernard Atkinson describió las cinéticas heterogéneas para biopelículas y flóculos, de gran interés para completar los temas de la cinética biológica. Los problemas de modelización se fueron complicando con el uso de células inmovilizadas, donde además puede haber posibles escapes celulares, al tiempo que se producen compuestos de interés, por ejemplo, enzimas. Colin Webb de la Universidad de Manchester (antes UMIST) describió bien alguno de esos fenómenos, e integró en el proceso fermentativo la producción de la materia prima a partir del grano de cereal. Por el contrario, no se atrevió mucho con la montaña asturiana.



Colin Webb

Metcalf & Eddy "Ingeniería de Aguas Residuales", McGraw Hill (2001)

R.B. Baird A.D. Eaton, E.W. Rice (eds) "Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater", AWWA (2017)

J.W. Patterson "Industrial Wastewater Treatment Technology", Butterworth-Heinemann (1985)

ii. El segundo campo de aplicación de biorreacciones en fase líquida es muy antiguo, las fermentaciones alimentarias, la obtención de bebidas alcohólicas y vinagres. En este campo los tecnólogos de alimentos trabajaron mucho en aspectos de calidad, mientras los ingenieros contribuyeron en el control y la modelización, o en la predicción de productos finales según las condiciones de operación. En muchos de estos procesos no hay agitación externa, sólo la propia de la fermentación primaria o la convección natural. Hablando de la composición, recuerdo a Atkinson, director del International Brewing Research Center remarcar en Oviedo una frase que les gustaría a los compañeros de Marketing, «... *la cerveza es la suma de la composición y... la ilusión*»; después se dedicó a su yate. Ha fallecido este último año.



Bernard Atkinson

iii. El tercer tema se desarrolla buscando primeramente conocer la eficacia de procesos microbianos en el tratamiento biológico de aguas, anaerobio y aerobio. Poco a poco, se han ido conociendo las características de los biocatalizadores microbianos en el intento de determinar la repercusión de las reacciones individuales, aunque con no mucha rapidez. Hasta los años noventa, la AWWA (*American Water Works Association*) había marcado muchas líneas de avance. Entonces hubo una fuerte contribución europea promoviendo la IWA (*International Water Association*); entre otros, Mogens Henze y Mark van Loosdrecht, que nos acompañó en la 2ª Conferencia de la Mesa Española de Tratamiento de Aguas (META) en Santiago en 1997.

B. Atkinson, F. Mavituna "Biochemical Engineering and Biotechnology Handbook", McMillan Pub. London (1983)

B. Atkinson "Biochemical reactors", Pion Ed. London (1974)



Mogens Henze

Mark van Loosdrecht

La utilización de microorganismos individualizados se ha extendido poco industrialmente, pero su investigación se ha ido haciendo más importante. No se trata sólo de diferenciar por funciones, sino conocer cada vez mejor las especies involucradas con técnicas de PCR, y su evolución en las separaciones o biorreacciones.

Se indican a continuación algunas de las aportaciones científicas con las que he contribuido en este periodo.

Tabla 2. Contribuciones científicas en la década de los noventa

Año	Contribuciones científicas	Referencias
1991	Separar simultánea metales de efluentes hidrometalúrgicos por extracción	Fresenius J.An.Chem.p.182
	Producción de proteasas con células libres e inmovilizadas	Afinidad 48. 377
1992	Propuesta de difusión proporcional a $P_m^{1/3}$ en sólidos geles permeables	Enzyme Microb.Tech.p.586
	Equilibrio en resinas de cambio iónico complejas con alta salinidad	Reactive Polym. 17. p.89
1993	Modelos para eliminación de C y Si en convertidores de acero	ISIJ International p.757
	Determinación de la mezcla en fermentadores no agitados	Biochem. Eng. 51. 857
1994	Predicción de la producción de ésteres en producción de cerveza	Enzyme & Microb. 16. 66
	Estrategia de puesta en marcha en SBR	Water.Sci.Tech.30.149
	Modelos para Intercambio Iónico bimetálico en base a microscopia	J. Colloid Interf.Sci. 215
	Comportamiento colonias en intercambio catiónico a altas concentraciones	Ind.Eng.Chem. 2789
1995	Aplicar redes neuronales para controlar y predecir fermentación	J.Ind. Microb. 15. 401
	Definición por primera vez la difusividad de células en sistema inmovilizado	Technic Quaterly 32.201
	Determinar perfiles de concentración. en fermentadores industriales	J.Ind. Microbiol. 15.401
1996	Definición por primera vez del Módulo de Convección-Reacción	Biotech & Bioeng. 51.131
	Evolución de estructuras y escape en bolas de alginato	Process Biochem. 31.813
1997	Sorción de colonias y contralones en intercambio iónico a alta concentración	Solvent Extract & IonEx.143
	Acoplamiento del Intercambio iónico en mejora proceso industrial	Solvent Extr. IonEx 15. 665
1998	Elaboración y test de un modelo cinético para Int. Ion. con dos frentes	Sep.&Pur.Technol. 13.37
	Analogía entre Intercambio Iónico equipo continuo con bombeo paramétrico	Sep.Sci.&Technol. 33.1025
	Deducción de los posibles perfiles internos de células inmovilizadas	Biochem. Eng.J. 1.225
	Determinar el efecto de la superficie en desarrollo inicial de biopelículas	Bioresource Tech. 66.225

La puesta en marcha de nuevos procesos de intercambio iónico ha requerido desarrollar también nuevos conocimientos. En sistemas metálicos con resinas complejantes hemos podido plantear nuevos procesos de separación y, al mismo tiempo, se ha avanzado en el conocimiento de los mecanismos cinéticos de intercambio, incluyendo modelos matemáticos, y conocimientos microscópicos para poder incluir el avance simultáneo de dos frentes. Ha resultado también interesante la contribución a la simulación de bombeo paramétrico con equipo continuo.

M. Henze, W.Gujer, T.Mino, MCM van Loosdrecht « Activated sludge models ASM1, ASM2, ASM2d, and ASM3 » IWA Publishing, 2020

La necesidad de separar K/Na nos animó a trabajar con altas concentraciones en las cuales se podía saltar el equilibrio Donnan. Los equilibrios que se presentan resultan muy interesantes teóricamente y también útiles para lograr separaciones difíciles. La distribución de coiones y su evolución resultan llamativos, mostrándose el interés para la aplicación industrial patentada en el campo de los fertilizantes, introduciendo el residuo a valorizar en la cabeza del proceso global.

El tratamiento de aguas residuales ha sido un tema que hemos mantenido durante décadas, muy en relación con el interés industrial, aunque con aportaciones científicas limitadas. Hemos trabajado en el tratamiento anaerobio de residuos ganaderos e industriales, apoyando, diseñando y participando en la construcción de plantas piloto e industriales, alguna de las mayores del país. La puesta en marcha de reactores secuenciales SBR ha resultado un tema fructífero, interesante por regular los tiempos de la biorreacción y separación en el proceso global, y también para conocer el impacto en las superficies de la colonización microbiana.

La producción con células inmovilizadas presenta la ventaja de evitar o reducir los problemas de arrastre y separación celular. Se ha estudiado así la producción en cultivo libre frente a inmovilizado en un sistema tan interesante como la producción de proteasas. Para analizar los datos de microorganismos inmovilizados en geles se han tenido que desarrollar modelos cinéticos incluyendo la difusión/reacción, prediciendo así los perfiles de concentración en el interior de las partículas de geles. Además, se ha propuesto una ecuación de dependencia para la difusión efectiva y, también, por primera vez, se ha propuesto la determinación de la “difusividad” eficaz de microorganismos.

La fermentación de cerveza y de sidra recibió una atención especial y pudimos relacionar las rutas metabólicas con la producción de compuestos característicos de aroma y calidad. En 1995 se mostró la aplicación de las redes neuronales a la determinación de parámetros en la fermentación.

Los fermentadores industriales funcionan con potencias por unidad de volumen más de cien veces menores que en los laboratorios, en los que suelen realizarse los experimentos con alrededor de 100 kW/m³. Se han medido, quizás por primera vez de forma bien definida, los perfiles de concentración de solutos y células en fermentadores industriales de muy elevados volúmenes y se ha determinado la mezcla en fermentadores no agitados.

Se han identificado las limitaciones convectivas en fermentaciones, analizándolas en un paralelismo con las difusionales, para las que se había introducido el número de Thiele. Nuestra contribución llegó a la introducción por primera vez del Módulo de convección-reacción N_{RC}. Este módulo ha permitido hacer una predicción inicial de la limitación de eficacia debido, sobre todo, a la poca agitación o a la alta viscosidad en el fermentador.

c. En el cambio del milenio

- Hidrodinámica de sistemas multifásicos

Suelen encontrarse en libros de texto las características hidrodinámicas de sistemas muy sencillos, sobre todo tanque agitado con fase acuosa y lecho fijo de relleno, así como también las columnas de burbujeo, sistemas G/L verticales. Barry Azzopardi, de la Universidad de Nottingham, fue coordinador del *European Working Party of Multiphase Flow*, en el cual he participado, y contribuyó de forma importante al estudio de los elementos básicos de flujo, como las uniones T y otros sistemas mecánicos sencillos. También contribuyó de forma importante al flujo en los cambiadores de placas, sistema en el que colaboramos nosotros.



Barry Azzopardi

En la industria se presentan, no obstante, muchos sistemas que no se engloban en los denominados “estándar” como los señalados anteriormente y para los que no se dispone ya de buenas correlaciones. Se requiere trabajar en esos otros sistemas, y que sirva para el diseño de estos equipos.

Otros sistemas de interés donde se debe conocer el flujo son los naturales, como suelos, en los que puede haber flujo no sólo de materiales solubles sino también de micropartículas o bacterias, y en los que se producen fenómenos como la adsorción o el taponamiento. Ha sido un campo de trabajo para el *European Working Party of Soil Contamination*, en el que he participado.

- Modelización de sistemas fermentativos complejos

El crecimiento balanceado de microorganismos, en estado pseudoestacionario en las células, se ajusta de forma estándar a partir de 1949 con la ecuación de Monod. Se utiliza para ajustar la constante de crecimiento exponencial con control por sustrato, habiéndose definido previamente la forma de medir los microorganismos. Presenta también una forma análoga a las de Langmuir para adsorción y de Michaelis-Menten para cinética enzimática. Pueden necesitarse ecuaciones más complejas con distintos controles, otros sistemas biológicos y periodos biológicos. En todo caso, estas ecuaciones se refieren a sistemas con

homogeneidad de sustratos, inhibidores o productos, en sistemas líquidos bien (perfectamente) agitados.



Jacques Monod

Cuando los microorganismos están “embebidos” en una matriz con dificultades difusionales, soportes o flocúlos, por ejemplo, la concentración que detectan en el interior resulta de la competencia entre difusión y consumo. El esquema es análogo al estudiado por Thiele en 1939 para catálisis inorgánica en fase gas, definiéndose el número adimensional que lleva su nombre, y que fué bien establecido posteriormente, en particular por Rutherford Aris, matemático con una gran contribución al análisis y control de sistemas en Ingeniería Química. Dicho módulo de Thiele se define de forma general, para órdenes m, n , y para Michaelis-Menten, según las tres ecuaciones que se muestran.

$$\phi = x_1 \left[\frac{2D_{A,s} \left(\frac{r_{A,s}}{K_m} \right) \left(\frac{r_{A,s}}{C_A} \right) \right]^{1/2} \quad \phi = x_1 \left[\frac{(n+1)k_c r_{A,s}^{n-1}}{2D_{A,s}} \right]^{1/2} \quad \phi = x_1 \left(\frac{V_m}{K_m D_{A,s}} \right)^{1/2}$$

La extensión para bioprocesos se realizó en los años 70, en particular por B. Atkinson que ya se ha mencionado anteriormente.



Rutherford Aris

J. Monod “The growth of bacterial cultures”, Annual Rev. of Microbiol, 3, 371 (1949)

E.W. Thiele “Relation between catalytic activity and size of particle”, Ind. Eng. Chem. Fund. 31, 916 (1939)

R. Aris “A normalization for the Thiele modulus”, Ind. Eng. Chem. Fund., 4, 227 (1965)

M. Díaz “Ingeniería de Bioprocesos”, 3ª Edición. Paraninfo (2021)

El interés de analizar en petroquímica los sistemas en fase gas dejó a un lado el estudio de los procesos en fase líquida. En estos, el tiempo de mezcla es importante, pudiendo no tener sistemas ni siquiera próximos a perfectamente agitados, salvo en los laboratorios. Este problema se manifiesta en particular en fermentaciones de bebidas alcohólicas (sin agitación) o en biorreacciones con sistemas altamente viscosos. En estos sistemas se puede ver experimentalmente que la potencia de agitación por unidad de volumen, puede mejorar la eficacia de la fermentación.



Barriles en fermentación de sidra

- Oxidación de aguas residuales

El tratamiento biológico es el sistema estándar para aguas residuales urbanas e industriales pero, en particular, estas últimas contienen con frecuencia compuestos no biodegradables que pueden requerir su cambio de fase con adsorción y posterior tratamiento, o su eliminación por oxidación. El interés en los años 90 en aguas industriales fomentó el estudio de esta última opción.

Se procura trabajar alejándose de régimen difusional para tener mayor velocidad y para poder medir la cinética (por ejemplo, en régimen de reacción rápida). Para identificar el régimen se debe evaluar el número de Hatta (Ha) ya descrito en 1932, y recogido en los años 70 por Astarita y Danckwerts. Para reacción de orden m , n su valor se indica a continuación. Este número de Hatta permite determinar el factor de intensificación (E), que es el factor de aumento o intensificación que se obtiene respecto al proceso físico, debido a la reacción.

$$Ha = \frac{\sqrt{\frac{2}{n+1} k_{r,1} C_{A,i}^{m-1} C_{B,i}^n D_A}}{k_L}$$

Con estas precauciones se puede evaluar la cinética de oxidación de muchos compuestos xenobióticos o no fácilmente biodegradables. Experimentalmente se ha procurado generar reacciones radicalares, en lo que se ha denominado como oxidación avanzada, con diversos oxidantes homogéneos o heterogéneos (Fenton, ozono, metales...).

S. Hatta "Technological Reports Tohoku University, 10", 613, (1932)

Se indican a continuación algunas aportaciones científicas con las que he contribuido en este periodo

Tabla 3. Contribuciones científicas en el cambio de milenio

Año	Contribuciones científicas	Referencias
1999	Mezcla en sistemas gas-líquido-líquido con soplado superior e inferior Aplicación de 'wavelets para analizar datos con células inmovilizadas Análisis de la simulación CFD para biorreactor con 2 fases	Chem.Eng.Sci. 54.4819 J.Ind. Microb. Biot. 23.155 Chem. Eng. Commun. 173.197
2000	Análisis de hidrodinámica <i>air lift</i> con alta relación superficial en downflow Modelo matemático para células inmovilizadas incluyendo perfiles celulares Análisis completo de producción de bebida alcohólica con suero lácteo Acoplamiento de disolución y caída de presión en lecho fijo	J. Chem. Tech. Biotech. 369 J. of Biotechnology 80. 203 J. Inst. Brewing 106. 367 Powder Technol. 115. 74
2001	Interacciones suelo - corrector de cal - lluvia Nuevos materiales de NH ₂ /metacrilatos para retención de proteína Regímenes de flujo para soplado superior e inferior en G-L-L'	Water Air Soil Poll. 127.31 J. Chem. Tech. Biotech. 76.1171 Chem Eng. Commun. 109.3
2002	Extensión del módulo reacción/convención para sistemas viscosos Simulación de la oxidación húmeda para operación semicontinua Mecanismo de oxidación húmeda de tiocianato	J. of Biotechnology 95.1 Ind. & Eng. Chemistry 41.46 Process Biochem 38. 1451
2003	Interacción en oxidación radicalar/ no radicalar: Caso de SCN-Ph. Producción de vinagre a partir de lactosuero	Envi. Sci. & Technol. 37. 1457 J. Inst. Brewing. 109. 4. 356
2004	Factibilidad de recuperación de CN ⁻ en residuos de oro por intercambio iónico Nuevos materiales de metacrilato para separación de proteínas	Min Eng. 17.6.767 Sep & Purif. Tech. 40. 243
2005	Introducción de mezcla local vs. global en equipos G-L Modelización del cultivo de híbridomas en medios sin proteínas Nuevos soportes para separar residuos de huevo Flujo no acuoso en medios porosos y modelización de resultados	Chem. Eng. Sci. 60. 5781 Biochem. Eng. J. 26. 122 J. of Food Proc. Eng 29. 36 Wat Air&Soil 117.1.3

La hidrodinámica de columnas de bombeo por aire '*air lift*' era un tema muy fecundo, pero los trabajos estaban muy basados en geometría pequeña, tanto para ascenso como descenso, muy lejos de lo que ocurre en plantas grandes, por lo que se determinó en un sistema más extrapolable para un reactor multitubo. Hemos contribuido en otros sistemas no estandar. En particular hemos caracterizado los sistemas de soplado superior G/L, que son interesantes cuando se quieren evitar problemas de corrosión, como es el caso del convertidor de acero, y que podría ser un campo de colaboración con los metalúrgicos. La presencia en metalurgia de una segunda fase líquida (L'), la escoria, nos ha inducido a su estudio en planta piloto llegando a definir los regímenes de flujo para sistemas G/L/L'.

A mediados de los noventa trabajamos en la introducción de CFD en Ingeniería Química, con los primeros estudios realizados en España. Una vez puesta en marcha la técnica la aplicamos a un biorreactor G/L, columna de burbujeo, determinando velocidades y retenciones, y abriendo las posibilidades a su aplicación en bioprocesos.

La hidrodinámica en suelos tiene características diferentes respecto a los lechos fijos. Se ha estudiado el flujo acuoso/no acuoso, que se presenta, por ejemplo, en el vertido de un disolvente orgánico en suelos, completando una modelización que es inevitablemente muy empírica. También ha resultado interesante el estudio realizado del acoplamiento de la caída de presión con la disolución en lecho fijo.

Los cultivos en células inmovilizadas presentan problemas debido a mayor varianza de los datos en los soportes, por lo que se introdujo en el campo el uso de una técnica

extraída de la astronomía, 'wavelets', dando buenos resultados y promoviendo su uso. Hemos ido mejorando los modelos matemáticos para células inmovilizadas, que podían aplicarse con la mayor precisión de los datos experimentales de concentraciones en los soportes.

El cultivo de hibridomas estaba bien establecido con sustrato proteico, que presenta problemas importantes en las separaciones posteriores, por lo que trabajamos con sustrato libre de proteínas, en sistemas discontinuo y continuo. Establecimos modelos para ambos procesos, e incorporamos un modelo segregado que considera la situación fisiológica de las células y el acoplamiento de las reacciones, lo que dió un nuevo enfoque en el análisis de estos sistemas.

El suero lácteo había sido mostrado como buen sustrato para la producción de etanol, pero nuestro planteamiento estuvo dirigido a la producción de una bebida alcohólica, donde resultan importantes además otros componentes que contribuyen al sabor y aroma. Posteriormente la bebida alcohólica se ha transformado obteniendo un vinagre, caracterizado por primera vez e introducido en el libro de vinagres del mundo. También se han mostrado los impactos de las estrategias de inoculación, sucesiva o simultánea, de levaduras y bacterias en bebidas alcohólicas.

La oxidación húmeda de contaminantes industriales, que resultan difíciles para el tratamiento biológico, es imprescindible en algunos casos de corrientes industriales. Analizamos de forma detallada la oxidación de tiocianato, presente en aguas residuales de siderurgia, de manera individual y acoplada con fenol, con efectos radicales y sin ellos. También mostramos la importancia de esos radicales cuando se quiere pasar a un proceso continuo y se ha simulado su comportamiento.

Finalmente, se comenzaron a desarrollar nuevos materiales con el objeto de su uso en procesos de separación. Entre ellos polimetacrilato funcionalizado para separar proteínas, así como otros soportes para separar componentes de residuo de huevo. También en el campo de las separaciones, se hizo un largo trabajo en la recuperación de compuestos de la minería de oro, dando buenos resultados en la recuperación de cianuro.

d. La primera década del s. XXI

- Procesos ambientales y nuevos materiales

La importancia de los problemas ambientales surgidos por vertidos a medios acuosos o suelos es creciente, así como la necesidad de procesos de separación. Aunque la disponibilidad de materiales comerciales es amplia, desde los entornos de investigación resulta muy atractiva la opción de preparar nuevos materiales con algunas ventajas operativas, siendo consciente de las dificultades cuando se pretende hacerles competir con los comerciales, aunque en ocasiones se puedan aprovechar materiales residuales. Con este punto de vista se van generando a lo

largo de los años diferentes materiales nuevos, resultando muy importante el tipo de conocimientos que se van adquiriendo.



Adsorbentes



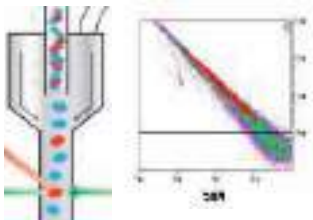
Resinas de intercambio iónico



Escoria de acería

- Nuevas formas de modelización para bioprocesos

La producción biológica de nuevos compuestos, y hacerlo de la forma más eficaz, es un reto que implica, al menos, conocer los microorganismos convenientes en buenas condiciones, con apropiadas condiciones de operación y con un buen control de los procesos. El cultivo de hibridomas ha sido uno de esos retos por su escasa resistencia a la deformación y rotura, y la toxicidad por productos de su propio metabolismo. En general, la necesidad de conocer el estado fisiológico de los microorganismos resulta importante para elaborar mejores modelos, así como para controlar y seleccionar la forma de operación. La técnica de citometría de flujo se había desarrollado para células sanguíneas a finales del pasado siglo, y su aplicación para medir los estados fisiológicos de las bacterias, más pequeñas, representaba un reto importante.



Citometría de flujo



Fotografía de hibridomas

- Preparación de productos alimentarios

Se ha descrito que se pierde alrededor del 40% de la materia prima durante la transformación de alimentos por la industria y que el consumidor pierde también un tercio como desecho. La recuperación diferencial de algunos componentes, en particular de las proteínas, puede realizarse con una concentración y pureza elevadas, pudiendo ser utilizadas para la obtención de nuevos alimentos.

Los nuevos productos alimentarios deben evaluarse según sus características químicas, sus características organolépticas y las propiedades físicas. Una de esas propiedades físicas de interés es la reología que se ha constituido como una propiedad física de gran precisión para medir cambios de la estructura en las tres direcciones, y que por sus características se ha podido utilizar para un buen número de aplicaciones.



Hidrolizado de proteínas



Nuevos alimentos



Reómetro

Se indican a continuación algunas de las aportaciones científicas con las que he contribuido en este periodo.

Tabla 4. Contribuciones científicas en la primera década del s. XXI

Año	Contribuciones científicas	Referencias
2006	Introducción de modelos segregados con CF en fermentaciones Cultivos mezclados para producción (proteasa) y eliminar DQO Exclusión Donnan para resina aniónica macroporosa	App&Env.Microb.Oc 6725 J. of App.Microbiol.103.864- Solv.Ex&Ion.Ex.25.529
2007	Uso de nano partículas como antifricción en aceites lubricantes Modelización para seguridad alimentaria, en fase sólida, para Listeria	Wear 265. 422 J. of Food Engineer. 87. 247 App&Env.Microb75:2977
2008	Contribución de subpoblaciones VBNC en fermentación maloláctica Análisis cinético de la viabilidad de híbridos	Biop Bioryst Eng. 32.6. 717 Biochem. Eng. J. 48. 385
2009	Aplicación de citometría de flujo para bioprocesos industriales microbianos Caracterización físico-química de escoria de acero	EnvSci& Tech15:44(14)5383 Food hydrocolloids. 24. 434
2010	Un nuevo método para fraccionamiento de yema de huevo Producción primera de lactobiónico no enzimática (con <i>F. toetrolens</i>) Aislamiento de IgY a partir de fracción de yema	Bioresource Tech. 102. 9730 Food & Bioprod.Proc. 89. 87
2011	Criterios para la selección de coagulación húmeda vs tratamiento biológico Bacterias lácticas prevalentes en producción de sidra, y eficacia	J of Env. Management 102. 65 Food Microbiology 32. 32
2012	Propiedades de proteínas de porcino, y modificadas por Maillard Cinética y etapas en la eliminación de CN, a T y P elevados Ensamblamiento por <i>F. putidus</i> en microfiltración en cartuchos	Food Hydrocolloids. 28. 267 Envir.Sci& Techn. 47. 1542 J. of Membrane Sci 443. 107
2013	Eliminación de sulfamethoxazol por intercambio iónico Propiedades de caolinita y adsorción de proteínas Primer modelo de penetración de pireno en el ahumado de productos cárnicos	Solv Extr & Ion Exch31:7.763 Applied Clay Sci 90.73 Food Add& Contam. 31.1688
2014	Efecto estacional de productos farmacéuticos en aguas residuas municipales Comportamiento reológico de hidrolizados térmicos de lodos activados Caracterización de microbiota de sidra (por PCR-DGGE) Monitorizar respuesta de microorganismos inmovilizados inducido por estrés	J Envi Chem Engin 2(1): 495 J. Water Proc Engineer 5. 153 J Instit of Brewing 121. 287 App Microb & Biot 99. 3573

Hemos preparado nuevos materiales en base a caolinita, producidos de forma económica y con buena capacidad para la recuperación de proteínas residuales. Los conocimientos de preparación de nanopartículas nos permitieron contribuir en la preparación de aceites lubricantes antifricción, así como caracterizarlos con propiedades reológicas que también resultan críticas. Otro material de interés es la escoria de acería que se ha caracterizado de forma bastante completa y que también ha mostrado buena capacidad para retener algunos iones inorgánicos como As(V).

Además, somos conscientes de la ventaja técnica de cambiadores iónicos comerciales, con los que se ha continuado trabajando en sistemas saltando el efecto Donnan, y también en la separación en aguas residuales de compuestos farmacéuticos como el sulfamethoxazol, un antibiótico habitual base, por ejemplo, de *Bactrim*. En la actualidad, los productos farmacéuticos se encuentran inevitablemente en aguas residuales, de forma global señalados como contaminantes emergentes. Hemos analizado la concentración de un buen número de estos contaminantes en entornos de vertidos hospitalarios, así como su evolución a lo largo del año, lo que resultaba un tema importante pero no analizado.

La oxidación húmeda de contaminantes era un tema ya importante, al que nosotros hemos contribuido con el estudio de algunos compuestos como el cianuro, de gran interés en la industria y del que ya habíamos visto su degradación biológica. Con la experiencia disponible pudimos comparar dos tecnologías, oxidación húmeda y biológica, y señalar las condiciones en que resultan ventajosas, de forma aproximada, cada una de ellas.

Se trabajó en la producción microbiana de un ácido como el láctico a partir de residuos, siendo muy interesantes los resultados con la primera producción microbiana de ácido lactobiónico, de gran interés industrial que sólo se producía *via* enzimática. Además, posteriormente se identificaron condiciones de operación que mejoraban sustancialmente el proceso. También resultó interesante el estudio del impacto a estrés que se produce cuando se lleva a cabo la producción en células inmovilizadas, lo que resulta clave para conocer la viabilidad de los modelos de crecimiento microbiano en fase sólida utilizando datos de la cinética en fase líquida.

Conseguida una buena resolución experimental del uso de citometría de flujo para cultivo bacteriano, nos permitió en este periodo desarrollar modelos segregados, por ejemplo, para fermentación maloláctica, así como desarrollar modelos aplicados a hibridomas. También se han demostrado y expuesto las condiciones para la aplicación de la citometría de flujo de forma general en biotecnología industrial.

Resulta muy atractiva la opción de acoplar la reducción de la contaminación, materia orgánica, DQO, con la producción de compuestos de interés, lo que nosotros hemos demostrado con la producción de proteasas. La posible utilización de microorganismos individuales en el tratamiento de aguas genera otro buen número de problemas. Hemos estudiado el procesado biológico de aguas con microorganismos individuales como *Pseudomonas putida* en un biorreactor de membrana (MBR), analizando también los procesos de separación y los parámetros de interés como el impacto de la reología.

En el campo alimentario, hemos aprovechado nuestros conocimientos de separación y fermentación para disponer de nuevos alimentos más aceptables y de calidad.

La fermentación alcohólica y maloláctica de sidra presenta aspectos interesantes de interacción mutua, por lo que hemos trabajado para seleccionar las mejores condiciones de operación. También hemos podido conocer mejor la microbiota presente, aprovechando las nuevas herramientas DGGE y PCR en este periodo.

El huevo es un recurso importante y con numerosos componentes, de forma que su separación y el uso específico de cada fracción son objetivos de interés, que ya se habían estudiado con otras materias primas. Se ha desarrollado así un método de separación para la yema que se ha convertido en estándar en la bibliografía, y se han continuado separando fracciones más pequeñas como las inmunoglobulinas. El conocimiento de las propiedades de los compuestos, en particular, de las proteínas, permite obtener nuevos productos alimentarios y caracterizarlos. El grupo amino de las proteínas es reactivo para la glicación o reacción de Maillard con azúcares reductores en medio caliente seco, dando reacciones muy importantes para modificar las propiedades de alimentos, que se han analizado asimismo.

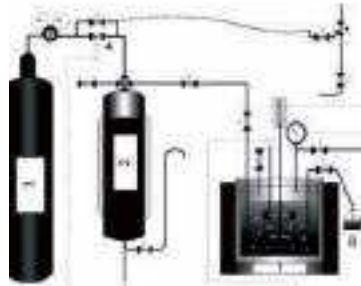
El ahumado es una operación alimentaria en fase gas, muy importante en particular para embutidos, pero cuyo conocimiento era esencialmente empírico. Elaboramos, quizás, los primeros modelos de transferencia de materia a través de las membranas, incluyendo los gradientes de concentración, aplicándose para conocer la evolución del componente tóxico principal, el α -benzopireno.

Los modelos matemáticos que habíamos desarrollado para el crecimiento microbiano en fase sólida nos han permitido presentar modelos para conocer la evolución de la contaminación microbiana. Se ha utilizado como modelo *Listeria* sobre varios productos alimentarios, cárnicos y queso, que muestran diferente comportamiento que se ha podido relacionar con su estructura física. Estos resultados pueden resultar de interés en seguridad alimentaria, para la comercialización de productos y para estimar su evolución en los lineales comerciales.

e. La segunda década del s. XXI

- Hidrólisis de lodos y separación de hidrolizados

La hidrólisis de diversos materiales poliméricos, sólidos, lodos o disoluciones se realiza industrialmente por motivos diferentes. En ocasiones para obtener algunos extractos, en otras para hacer más eficaz la producción de algunos compuestos intermedios, así como para aumentar la producción de energía a través de la generación posterior de biometano. Las etapas hidrolíticas suelen ser las más lentas, controlantes en los procesos globales y los procesos de separación pueden resultar determinantes en la aplicación práctica de estas operaciones.



Reactor discontinuo para hidrólisis térmica

Hay bastantes propuestas de hidrólisis; alcalinas, ácidas, térmicas, saltos de presión, oxidaciones o enzimáticas, que abren muchas opciones para los numerosos residuos posibles. La selección de la operación más adecuada en cada caso es compleja por los costes de producción, los productos que se buscan y su valor de mercado.

- Preparación de biomateriales y nuevos productos

Los materiales de distinta procedencia, por ejemplo, metálica, celulosa o plásticos, han sido base del desarrollo humano, con una gran diversidad de prestaciones desde el campo de la construcción al de la salud. Su desarrollo se ve ahora mediatizado por la necesidad de sustituir los materiales más contaminantes. En particular, el problema ambiental de los microplásticos está generando la necesidad de desarrollar biomateriales, que se pueden presentar de formas muy diversas, tanto en composición, como en forma, láminas, esferas, etc. La investigación en este campo precisa conocer las interacciones que se pretenden aprovechar (o evitar), su forma de preparación, comportamiento en el mercado y valoración ambiental.

Existen ya ejemplos comerciales en campos como el empaquetado, la alimentación o la salud. Una de las personas que más propuestas y aplicaciones ha realizado fue Robert Langer, el Premio Príncipe de Asturias de Investigación Científica y Técnica y también de Tecnología del Milenio 2008, una especie de Nobel de Tecnología concedido en Finlandia, que ha contribuido desde hace muchos años en casi todos los campos, incluyendo la regeneración de tejidos.



Robert S. Langer

El crecimiento de la biotecnología promueve también el crecimiento de las producciones microbianas que no solo pueden generar nuevos compuestos, sino también producir de forma más atractiva productos conocidos. En este último caso existe frecuentemente la competencia entre productos de síntesis “puramente” química, de producción enzimática y celular. Un interés particular es la sustitución de la fabricación con enzimas, por cultivos microbianos que tengan los mecanismos enzimáticos que faciliten el producto deseado.

- *Impactos ambientales*

Junto con los impactos producidos por las aguas urbanas, han crecido los de vertidos complejos como los de lixiviados de vertedero o los debidos a otros microcontaminantes como los emergentes, o los microplásticos. También han crecido los de algunos nuevos productos recientes como las nanopartículas industriales o el grafeno, descubierto e identificado en 2004 por Andre Geim y Konstantin Novoselov. Evaluar su impacto y reducir su volumen mediante tratamientos es un tema de interés, que seguirá creciendo en el futuro. En ocasiones, se pueden reducir mejorando los procesos de producción, los hábitos de consumo o los productos que se consideren.



Fases para ACV (de ISO 14040)

Y se debe llevar a cabo también la evaluación del impacto ambiental, en particular el análisis de ciclo de vida (ACV) de las actividades que hacemos o promovemos los humanos. Estos estudios se realizan cada vez con más frecuencia en la etapa de diseño, y no como etapa final después de la producción. Desde hace años se dispone de herramientas para aplicar la ACV en forma estándar, cuyos resultados tienen importancia no sólo en su aplicación, sino también en la realización y valoración de aspectos como la ingeniería.

Se indican a continuación algunas de mis contribuciones científicas durante este periodo.

Tabla 5. Contribuciones científicas en la segunda década del s. XXI

Año	Contribuciones científicas	Referencias
2015	Gránulos de yema de huevo para alimentos bajos en colesterol Toxicidad de óxido de grafeno sobre <i>P. putida</i>	LWT.FoodSci &Tech 62, 613 J. Hazardous Mat. 310, 416-
2016	Estructura molecular de productos de oxidación húmeda de lodo activado Caracterización por citometría de flujo del estado fisiológico aguas Descripción de amensalismo entre bacterias en proceso productivo	Water Research, 105, 282- Env Sci Pollut Res Int.24.26 Bioproc&Biosyst.Eng 40.1111
2017	Control por temperatura de la sobreproducción de ácido bacteriano Impacto ambiental de diferentes formas sociales de comidas Nuevos alimentos simbióticos	Process Biochemistry 58, 9 Int.J.Life Cycle Asses.23.811 Int. J.Dairy Tech. 3 Aug.2018
2018	Biopelículas transparentes y comestibles a partir de residuos de huevo Producción de ácidos carboxílicos a partir de residuos de licor negro Análisis metagenómico de comunidades bacteriana en lioviados	Food&Bioproc Techn.2018) 735 BioresTechnol 284.105.2019 Clean Soil Air Wat 18 Oct
2019	Cultivo de tejido de piel a partir de plasma humano Preparación de soportes de celulosa para la retención de metales Análisis del problema medioambiental de los bioplásticos	J. Mech BehaBiomMat Jan89 Env.Sci Pollut Res. Jan. 3 Sci. Tot. Environment
2020	Oxidación húmeda de ácidos húmicos Preparación y uso de catalizadores a partir de cascara de huevo Impacto de la edad del lioviado en su ultrafiltración	J. Haz Mat. 396, 122402 Water. 12(i), 100 J. Wat Process Eng.35.106291
2021	Tratamiento por hongos de digestión anaerobia de lodos activados Incorporación de bacteriófagos en películas para envoltorios	Biochem Eng. 172 Food Control. 121, 107666
2022	Producción de ácido lactobiónico por fed-batch con lactosuero ácido Acoplar operaciones para recuperar ácidos orgánicos de licor negro	Int.J Dairy Tech. 1471-0307-12841 Sep.&Purif. Technol. 284,120274

Comenzaremos por señalar nuestra actividad para la producción de los hidrolizados. Los estudios de la hidrólisis térmica sobre lodos activados del tratamiento biológico han mostrado el interés en la obtención de proteínas, hidratos de carbono o los análogos ácidos húmicos. Se avanzó bastante en el conocimiento de la estructura molecular y el tamaño de los productos, función de las condiciones de hidrólisis. Se describió también la hidrólisis de diferentes componentes, en particular exopolisacáridos (EPS), y también de la fracción denominada ácidos húmicos.

Otro subproducto de interés es el licor negro del proceso Kraft, que actualmente se utiliza para la producción de energía. Hemos descrito cómo utilizarlo para obtener diversos productos químicos como una alternativa para las situaciones donde no resulte favorecido el mercado energético. Los resultados demuestran la posibilidad de obtener de forma eficiente, en particular, ácidos orgánicos. También se han evaluado los procesos de separación de los componentes obtenidos, mostrándose el interés de aplicar operaciones acopladas de precipitación, membranas y extracción líquido-líquido.

Se ha comentado que los biomateriales se sitúan como productos de interés futuro. En el análisis de la gestión de productos del huevo, los procesos de separación sobre la yema permitieron separar tres fracciones: una utilizable para tener productos alimentarios bajos en colesterol, otra de uso cosmético y una tercera acuosa para producir una bebida. Todo ello lo hemos desarrollado y analizado, incluyendo asimismo una visión muy práctica que pudiese ser comercial. También se han podido preparar biopelículas transparentes, comestibles y utilizables para empaquetado. Se ha mostrado además que la cáscara se puede utilizar preparando catalizadores, que se han aplicado de forma eficaz en el tratamiento de aguas.

Se han preparado también nuevos biomateriales a partir de diversos substratos, como proteínas (huevo, sangre, gelatina, lácteos), ácidos, hidratos de carbono y mezclas de los anteriores, entre otros. El uso de otros recursos como los lignocelulósicos, de momento presentan más dificultades para la obtención de biopartículas. También se han introducido diversos aditivos que convierten al biomaterial en un agente activo, como ha sido la introducción de bacteriófagos que pueden resultar de interés en el envasado de alimentos.

Otro uso diferente de biomateriales han sido la adsorción de componentes tóxicos en agua, en particular metales, para lo que se han preparado materiales de interés a partir de diversos residuos celulósicos. Un uso muy diferente de los anteriores ha sido la preparación de andamiajes para el cultivo de células humanas, en particular de epidermis, en el que hemos hecho alguna contribución, hasta ahora escasa.

Otras contribuciones en campos más alejados, pero de interés, han sido la obtención fermentativa de bioproductos. En este periodo se ha podido llevar a cabo una sobreproducción microbiana de ácido lactobiónico, demostrando la importancia del control fino de temperatura. También se ha estudiado un caso muy interesante de amensalismo entre bacterias, llevando a cabo su modelización y, asimismo, se ha realizado la preparación de alimentos simbióticos.

El interés de procesos ambientales y el tratamiento de contaminantes es el tercer aspecto a comentar en este periodo.

Se ha seguido avanzando en la caracterización de la población microbiana existente en el tratamiento biológico de vertidos complejos, como es el caso de lixiviados de vertedero. Las contribuciones se han realizado en dos direcciones, una es conocer los microorganismos presentes por análisis genómico, para lo cual se han desarrollado los protocolos de PCR identificando la composición desde el nivel Phylum hasta el de especie. Asimismo, se ha aplicado el análisis para demostrar que operaciones como el centrifugado dan lugar a diferente concentración relativa de algunas especies en la fase ligera y en la pesada, lo que es un fenómeno importante para la modelización de los sistemas de tratamiento. El otro enfoque, quizás de aplicación más directa, ha sido demostrar por citometría de flujo, la importancia del estado fisiológico de las poblaciones microbianas, identificando su situación en las diferentes etapas de biodegradación.

El problema de los lixiviados con una relación DBO/DQO muy baja plantea además la búsqueda de nuevas propuestas de tratamiento. Una de ellas ha sido ver la viabilidad de la aplicación de hongos en sistemas de codigestión, que también extrapolamos a otros residuos industriales y agrícolas. Otra línea ha sido conocer la eficacia de ultrafiltración en función de la antigüedad del lixiviado de interés para la aplicación de esta operación en la práctica.

La presencia de nuevos contaminantes es cada vez un tema de mayor importancia. La de microplásticos en el medio ambiente es bien conocida y se ha analizado de forma crítica. Cabe destacar también el impacto de grafeno y nanopartículas cuya toxicidad se ha evaluado en bacterias.

De forma muy breve, señalar finalmente la importancia de los trabajos realizados de análisis de ciclo de vida (ACV) evaluando el impacto de tecnologías como el tratamiento anaerobio, pero también de otras decisiones industriales como la localización centralizada, o no, de plantas industriales, o la forma de gestión de sistemas alimentarios, o la producción agrícola. Todo ello ha contribuido a aportar datos de interés genérico, así como también de varios productos y procesos importantes en Asturias. En ambos casos resulta de interés para la toma de decisiones, lo que se sitúa en otro nivel jerárquico distinto al del tradicional diseño puramente ingenieril.

Me gustaría al acabar esta descripción, que este Acto fuese un reconocimiento a mis compañeros de la Universidad del País Vasco y de la Universidad de Oviedo, con quienes aprendí y que trabajamos juntos. Por supuesto, a los 47 doctores a quienes tuve el honor de ayudar en su formación y en su dirección. En la foto se indican los miembros que participan este año en el grupo TBR. No quiero olvidar a las personas de las empresas con quienes he colaborado, en particular del Cluster IQPA, de quienes he podido aprender la ingeniería más próxima a la realidad industrial.



TBR, febrero de 2022

*Contribuir a la sociedad
que también nos justifica,
vivir
y ojalá formar*

5. Algunas consideraciones sociales

*En un mundo globalizado,
en un mundo con varias puertas
¿Dónde estarán nuestros filósofos?*



a. Las tendencias socioeconómicas

Una primera pregunta es cómo las estrategias que se van implantando van a cambiar la situación económica. Por comentar una de ellas, las implicaciones del desarrollo de la economía circular, puede cambiar o acelerar los cambios de las tecnologías de las empresas. Pensad, por ejemplo, en cómo la reciente Ley de Residuos va a afectar a las empresas, aumentar el peso de las sociedades gestoras de residuos y de las administraciones.

El interés por la sostenibilidad es antiguo, lo ha sido en distintas sociedades, aunque con enfoques diferentes. Se veía a un nivel más local, como los indios americanos en su llanura, el campesino asturiano, o Francisco de Asís en su entorno cercano. El conocimiento global del planeta ha hecho que esa visión se amplíe, desarrollándose el pensamiento y los documentos teóricos sobre la sostenibilidad, contribuyendo al sentido social y a la normativa legal actuales. Por ejemplo, con la hipótesis Gaia (diosa de la tierra en la mitología griega) de la autorregulación de atmósfera y superficie de la Tierra de James Lovelock, hasta la *Laudatio si* del Papa Francisco.



Campesinos asturianos



James Lovelock



Día de la Tierra



Papa Francisco

Otros ejemplos señalados son la declaración de la ONU sobre los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), o la Agenda 2030. El Día de la Tierra, desde 1970, es el 22 de abril, fecha que yo recuerdo perfectamente todos los años. Fue establecido para alcanzar un “equilibrio entre las necesidades económicas, sociales y ambientales de los habitantes del planeta y las futuras generaciones”. Representa un interés por la señalada como “casa común” y nuestra interdependencia con todos los ecosistemas. Lo que ocurre es que el *Episteme* de Foucault no es el mismo en todos los países en un momento dado, por lo que se generan fuertes tensiones.

El avance desde las ideas hasta su ejecución parece que se desarrolla en paralelo y de forma simultánea por dos líneas: las metodologías científicas e ingenieriles, y por otra parte los análisis filosóficos y sociológicos, como se indica en la figura. Ambas van en paralelo, cumpliendo etapas en las que se apoyan para seguir avanzando. La sociedad se siente responsable de la exigencia ambiental, y se avanza siempre que exista la ingeniería para mantener el bienestar; en otro caso, la sociedad reevalúa su posición. Esta interdependencia es una buena muestra de cómo la idea original general se va concretando en exigencias de sostenibilidad, para señalar en una tercera etapa objetivos claros, lo que requiere el trabajo de las personas y las empresas. En una quinta etapa pasa a ser potenciado por distintas entidades, administraciones y medios de comunicación social. Conviene recordar las enseñanzas de Hanna Arendt: si actuamos sin pensar seremos presa de cualquier ideología, señalaba en particular la etnia y la raza.



Una forma de ver el paso de la idea hasta los desarrollos administrativos y sociales

b. El impacto de la ciencia

Los objetivos y estrategias globales que están modificando la economía se han basado en un alto grado en los importantes desarrollos de la ciencia. En alguna

forma, la ciencia se ha ganado un entendimiento social como eje de conocimiento de la situación del planeta, y como impulsor del desarrollo tecnológico que genera bienestar social. Eso la sitúa en una situación angular para la sociedad, por lo que han acudido a ella muchos grupos sociales solicitando le den la razón en sus pensamientos, o buscando aquellos resultados que pueden servir para justificarlos. Y ello es una presión muy importante sobre la sociedad científica, sociedad que es muy amplia y diversa y, en consecuencia, abriendo riesgos al mantenimiento de su propio sentido.

En ocasiones puede parecer que la economía está en manos de la ciencia para el desarrollo económico, y para la toma de decisiones, como se ha visto con el Covid. También puede sentirse como una metodología globalizante de interés para el análisis de la situación actual y de qué hacer para el futuro, y que puede sentirse como un riesgo. Pero pienso que se ha exagerado excesivamente esa influencia. Así que voy a recordar a Casandra sacerdotisa del Olimpo a quien Apolo prometió darle el don de la profecía, si se entregaba a él. Pero una vez logrado, Casandra no quiso cumplir, y Apolo le escupió en la boca con lo que perdió el don de la persuasión, así que ella ya no sería tenida en cuenta. Alguien puede decir que es análogo a lo que les pasa a los científicos, que no se les tiene en cuenta al hacer las predicciones. Por hacerle una crítica, esa capacidad de decisión en general puede ser excesiva, los conocimientos científicos para las predicciones son importantes, pero muchas veces escasos. Quizás no es deseable que sean absolutamente suficientes siempre.

La metodología científica tiene, no obstante, algunas características que resultan importantes en la situación de previsible futuro socioeconómico. Una es la forma de control interno de los conocimientos que se desarrollan, aunque quizás con alguna nueva exigencia, tal vez de tipo ético. Otra característica de interés es el sentido abierto e internacional de la ciencia, aunque ese carácter abierto no es algo que esté garantizado en el futuro, como tampoco lo está su valoración futura como ocurre con todas las actividades humanas.

6. Final

*¡Libro acabado,
caída carne mía,
labrador subterráneo de mi vida!*

Juan Ramón Jiménez. Epitafio ideal



Toque de la cuarta trompeta
Comentario al Apocalipsis. Beato de Liébana

Pienso que nos debemos sentir afortunados en la vida.

Hemos vivido en un periodo de transformación. Nos hemos incorporado a la educación que nuestros padres no tuvieron. En la Universidad comenzaron a llegar fondos para investigación, y se nos abrió el mundo a la globalización científica. He tenido la oportunidad de trabajar en lo que me gusta y he podido aprender de muchas personas. Es una forma muy interesante de vivir la vida, incluso más allá de la profesión. Como decía, la investigación es una actividad de interés para la sociedad, imprescindible en esa competencia en que nos hemos instalado todas las sociedades, cuyo interés nos obliga a difundirla para atraer a los más interesados y capacitados para este trabajo.

Nos ha correspondido una época de globalización, a mí desde una casería. Y la región se ha encontrado con multitud de retos en estos años, incluyendo la globalización, de los que ha salido regular parada. Tenemos que ser inteligentes para encontrar, por tanto, el camino del crecimiento.

Tendremos que saber en qué podemos contribuir al bien de todos, en qué podemos ser los mejores para que nos elijan los demás frente a otros y así para que nosotros también crezcamos. Este es el sino de los tiempos. Las empresas, con los mejores trabajadores, directivos y financiación para dar los mejores productos con objeto de atraer a los consumidores. Los profesores e investigadores, para tener los mejores alumnos formados, las mejores contribuciones en investigación y transferencia para atraer a las personas interesadas.

Todos debemos buscar en qué podemos contribuir mejor.

Gracias a todos por vuestro interés y atención.

Consultas adicionales

Texto y Presentación en: www.aaci.es (y en www.unioviado.es/TBR)

Webs para consulta general

Institución de Ingenieros Químicos (UK) /desde 1922/

<https://www.icheme.org>

Sociedad Española de Biotecnología (BIOTEC)

<https://sebiot.org>

Mesa Española de Tratamiento de Aguas (META)

<http://www.redmeta.es>

Estrategia Española de Bioeconomía.-

<http://bioeconomia.agripa.org/download-doc/102163>

Real Sociedad Española de Química. Grupo de Ingeniería Química

<https://rseq.org/quienes-somos/estructura/grupos-especializados/>

Sociedad Española de Química Industrial e Ingeniería Química

<http://www.angel.qui.ub.es/sequi/>

Asocs.: Nal. de Químicos/Ings Químicos de España, y de Químicos de Asturias

<https://anque.es> <https://www.alquimicos.com/>

Webs para ampliar la información en los temas presentados

Cluster de Industrias Químicas y de Procesos de Asturias (IQPA)

<https://www.cluster-iqpa.com>

Oferta de formación de Master (Universidad de Oviedo)

Ingeniería Química (Oficial)

<http://iqtma.quimica.uniovi.es/masteriq/>

Biotecnología Alimentaria (Oficial)

<https://www.unioviado.es/MBTA/>

Gestión y Desarrollo de la Industria Alimentaria (Propio)

<https://www.unioviado.es/MGYDIA/>

Oferta investigación web TBR

<https://www.unioviado.es/TBR/>

Productos desarrollados y temas alimentarios

<https://www.unioviado.es/catedraIPA/servicios-analiticos-y-tecnologicos/>

Red Estratégica de Grupos de Investigación en Sostenibilidad Alimentaria (Asturias)

<https://www.unioviado.es/poloalimentario/investigacion/red-estrategica/>

Y para estar conectados

Correo electrónico y LinkedIn: mariodiaz@uniovi.es

Twitter: [@MarioDiazUniovi](https://twitter.com/MarioDiazUniovi) ; [@TbrGrupo](https://twitter.com/TbrGrupo) ; [@catedraIPA](https://twitter.com/catedraIPA)

DISCURSO DE CONTESTACIÓN

DEL

ILMO. SR. D. BORJA SÁNCHEZ GARCÍA

**Consejero de Ciencia, Innovación y Universidad
del Principado de Asturias**



GOBIERNO DEL PRINCIPADO DE ASTURIAS

CONSEJERÍA DE CIENCIA, INNOVACIÓN Y UNIVERSIDAD

ÍNDICE

I. Laudatio	69
II. La sociedad y su participación en el diseño de una estrategia científica	71
III. Recepción	97

Sr. Rector Magnífico de la Universidad de Oviedo
Sras. y Sres. Académicos
Señoras y señores

I. Laudatio

Vaya por delante el honor que supone para mí, como Consejero de Ciencia, Innovación y Universidad del Principado, ser el encargado de ofrecer el discurso de contestación en la incorporación del primer académico de número de la Academia Asturiana de la Ciencia e Ingeniería. Y me complace que esta andadura comience de la mano de Mario Díaz, Catedrático de Ingeniería Química de la Universidad de Oviedo y presidente de esta nueva Academia.

A Mario Díaz debemos reconocerle como punto de partida que haya cubierto un hueco casi inexplicable, ya que una comunidad como Asturias debería haber contado con una Academia de Ciencia desde hace décadas, al igual que ha ocurrido en las Comunidades Autónomas de nuestro entorno.

Pero nunca es tarde si la dicha es buena, por ello, permítanme que haga una breve introducción antes de pasar a relatar los méritos de nuestro académico para poner en contexto qué nos ha traído hasta aquí. Lo primero que quiero destacar es que la Academia Asturiana de Ciencia e Ingeniería cubre un vacío, una asignatura pendiente en Asturias, ya que son muchas las comunidades autónomas que cuentan con instituciones equivalentes a la que hoy presentamos desde hace muchas décadas. He tenido la suerte de vivir de cerca su gestación y que ha visto la luz para acoger en su seno a destacados representantes de nuestra ciencia.

Justo cuando comenzábamos los trámites legislativos para crear la agencia de ciencia e innovación asturiana, una representación muy destacada de nuestra comunidad científica, encabezada por el profesor Mario Díaz, daban el paso de impulsar la Academia ante la necesidad de crear una entidad corporativa que integrase a aquellas personas que contribuyen de forma tan decisiva al desarrollo de la ciencia e ingeniería. El aval proporcionado por esa serie de miembros fundadores y destacados en sus propios ámbitos de investigación a nivel internacional, vinieron a refrendar la rápida tramitación de una institución que, impulsándose en abril de 2021, ya cuenta con asignación presupuestaria por parte de la Consejería de Ciencia en 2022. Por ello, he de reconocerle al profesor Díaz la decisión de impulsar este nuevo foro, que será clave para el desarrollo del sistema científico tecnológico del Principado de Asturias. Y es que, con esta Academia, damos un paso importante para fomentar la investigación multidisciplinar, la comunicación y colaboración entre los agentes del Sistema Asturiano de Ciencia e Innovación.

Paso ya a dar respuesta a nuestro candidato a primer académico de la AACI de quien quiero destacar sobre todo una trayectoria que ha sabido cumplir con esas tres misiones que Ortega y Gasset atribuía a la Universidad y, por extensión, al buen

universitario y que se traducen en una docencia de calidad para la formación de los mejores profesionales, la excelencia en la investigación y la transmisión de la cultura, entendida en nuestro tiempo como la transferencia de conocimiento.

A todas ellas ha atendido el profesor Mario Díaz desde los distintos puestos que ha ocupado en su carrera, que inició como estudiante de Ciencias Químicas en la Universidad de Oviedo, donde comenzó a ejercer la docencia en 1979 como profesor adjunto numerario. La vida académica le llevaría a Las Palmas, primero y al País Vasco, unos años más tarde, donde obtuvo la plaza de catedrático y permaneció durante varios años hasta su traslado a la Universidad de Oviedo en 1987.

Más de 45 años de docencia avalan su trayectoria profesional, si bien ha compatibilizado su magisterio en las aulas con distintos cargos de gestión. Fue Director del Departamento de Ingeniería Química de la Universidad del País Vasco (1982-1987), Director del Departamento de Ingeniería Química de la Universidad de Oviedo (2012-2016) y Vicerrector de Investigación de la Universidad de Oviedo (2000-2004).

En paralelo, sentó las bases de la formación en el campo alimentario en la Universidad de Oviedo, con la puesta en marcha de un Master en Biotecnología Alimentaria, primero como título propio y luego como oficial, además de un Master Propio en Gestión y Desarrollo del Sector Alimentario. Como contribución al sector alimentario, destaca su papel como Director de la Cátedra de Industria y Procesos Agroalimentarios de la Universidad de Oviedo, cargo que desempeña desde 2019.

Si nos adentramos en el laboratorio, veremos que el profesor Mario Díaz ha dirigido durante más de 40 años el grupo de Tecnología de Bioprocesos y Reactores (TBR), con investigaciones en diversas áreas: tratamiento de gases y de aguas residuales, procesos de fermentación, de separación y preparación de materiales biológicos y alimentarios, etc.

Es autor de más de 450 publicaciones en revistas científicas y libros, de ellas más de 300 en revistas SCI (en los últimos 10 años una media de 12-15 publicaciones SCI/año), y ha dirigido 47 tesis doctorales. Cuenta con siete valoraciones positivas de sexenios de investigación y el primer sexenio de transferencia creado por la ANECA.

Pero si las cifras que rodean su trayectoria académica e investigadora nos dan una idea del perfil de nuestro primer miembro de la Academia Asturiana de la Ciencia e Ingeniería, no es menor su labor en esa “tercera misión” universitaria. Siete patentes sobre proceso de aguas residuales y aprovechamiento de residuos, dos de ellas licenciadas, y dos empresas de base tecnológica (EBT) avalan su esfuerzo en el ámbito de la transferencia de conocimiento y su talante emprendedor.

No quiero tampoco dejar de mencionar algunas distinciones en el ámbito profesional como Presidente de la Sociedad Española de Biotecnología, o de la Red Española de Tratamiento de Aguas, cargo este último que todavía ostenta, o galardones como el Premio Asturias de Medio Ambiente (1995), Premio de Ingeniería Química de la Real Sociedad Española de Química (2013), Premios del Instituto Español del Huevo (2000, 2007, 2015, 2020); o el *Award for Excellence in Engineering Design*, de DuPont. A todo ello hay que añadir la organización y dirección de congresos y la publicación de libros y artículos de divulgación.

II. La sociedad y su participación en el diseño de una estrategia científica

Coincidirán conmigo en que el Profesor Mario Díaz ha tratado de mantener en su trayectoria una fórmula equilibrada entre la docencia, la investigación y su compromiso con acercar la ciencia a la sociedad, un ámbito en el que me gustaría pararme unos minutos para compartir algunas reflexiones con ustedes desde un punto de vista bidireccional, porque tan importante es que la sociedad se acerque a la ciencia, como que la ciencia se acerca a la sociedad. Por ello, considero adecuado centrar mi discurso de contestación sobre un aspecto que emana de uno de sus apartados, y es aquel dedicado a las necesidades sociales y su interrelación con los programas y estrategias científicas.

Es deseable comenzar aclarando qué entiendo por ciencia, puesto que del alcance de su definición derivará el diseño y la implementación de dichos programas. Me gusta manejar un concepto amplio de ciencia, que tomo del libro “Consejos a un joven científico”, escrito por el premio Nobel Peter Medawar¹. La ciencia sería el resultado de todas aquellas actividades de carácter más o menos explorador que tienen como objetivo obtener un mejor, más amplio y más exhaustivo conocimiento del mundo que nos rodea. De esta forma el concepto no solo engloba la investigación, sino a toda otra lista de actuaciones científicas como la transferencia, la divulgación, la difusión, la gestión o la implementación de procesos industriales y aplicados que tienen a la ciencia como base.

Vemos, por tanto, recapitulando el discurso del Prof. Díaz, que la ciencia y la investigación están muy relacionadas, como no podía ser de otra manera, pero estas a su vez lo están con otras muchas actividades. Así, la docencia está íntimamente relacionada con el seguimiento de los avances científico tecnológicos fruto de la actividad investigadora, la investigación los está con los campos aplicados a los desarrollos industriales, notablemente en este tiempo de transición hacia modelos productivos más sostenibles y digitales, y por supuesto, ambas están relacionadas con la divulgación y la difusión de los avances hacia la sociedad.

Estas redes de interrelación son determinantes a la hora de que las diferentes estrategias científicas calen y consigan atender tanto las necesidades sociales como asegurar el avance del conocimiento, por lo que, a continuación, reflexionaré sobre algunas de las cuestiones clave que atañen a los diferentes elementos que constituyen esta red, presentando en el primer apartado una perspectiva histórica, para continuar con los dos siguientes capítulos donde se discutirá la utilidad de la ciencia, y sus dos caras: la ciencia básica y la aplicada. Por último, daré alguna de las claves, desde la perspectiva asturiana, del cambio de paradigma que está suponiendo la participación, cada vez más activa, de la sociedad en el diseño de la programación y de los proyectos científicos.

¹ Medawar, P. (1989). Consejos a un joven científico.

II.1 Perspectiva histórica de la ciencia en España.

Todo trabajo de reflexión, requiere un cierto conocimiento previo de qué acontecimientos y proceso nos han traído hasta aquí, al ser estos determinantes para comprender la configuración actual de nuestro ecosistema de ciencia e innovación. Es también imprescindible tener este bagaje histórico para poder transmitir y orientar nuestras propuestas con un criterio, cualesquiera que sea el punto en el que operemos dentro del sistema de ciencia y tecnología.

No es mi intención retrotraerme a los inicios históricos de la ciencia en general y de la ciencia española en particular, pero sí que es cierto que Asturias, por su tradición y cultura, tiene asociada una serie de personajes mitológicos y creencias que poco tienen que ver con nada científico. Durante siglos, historias, leyendas y confabulaciones fueron creciendo en torno a esos personajes: el trasgu, la xana, el cuélebre... cuya intención no era otra que entender el mundo que les rodeaba, cosa difícil a la luz del notable avance científico de los últimos 200 años. No es que sea esta una característica única al Principado, pero sí que nos hace pensar en ese tránsito que las sociedades pasadas hicieron desde las supersticiones, los mitos, a otra iluminada por el espíritu ilustrado, donde triunfa la ciencia, la lógica y la razón.

Como digo no es mi intención extenderme en este tema, en cambio considero justo, a la vista de los numerosos trabajos realizados por intelectuales como el Profesor Emilio Muñoz², comenzar este trayecto histórico con un hito muy relevante: el momento en el que los gobiernos de las sociedades industrializadas son conscientes de la necesidad del desarrollo de una política científica; posteriormente abundaré más en el caso concreto de España.

El concepto de política pública de ciencia, se refiere a los esfuerzos intencionados, preconcebidos y diseñados por los gobiernos, con los que pretenden influir en la dirección y en el ritmo de desarrollo del conocimiento científico-tecnológico, mediante una serie de acciones que movilizan recursos financieros e instrumentos administrativos³. Esto moviliza, a su vez, a la denominada como cuádruple hélice⁴, concepto que viene a atender esa demanda social asociada a los cambios culturales, creativos y a los valores que se representan y encarnan en la sociedad civil organizada. De esta forma, la cuádruple hélice comprende la interacción entre cuatro partes, las cuatro palas de la hélice, que a su vez hace de concentrador de cuatro perspectivas, la de la universidad, la de las empresas, la del gobierno y la de la sociedad. El diseño de las estrategias de especialización inteligente, una condición necesaria que la Comisión Europea impone a las regiones a la hora de acceder a los fondos de cohesión, fondos que son clave para el impulso de los programas de

² Emilio Muñoz Ruiz (2018) Las disfunciones en la política científica de la ciencia y el desarrollo tecnológico a la I+D+I. Sistema: revista de ciencias sociales, Nº 249-250, pp. 21-44.

³ Shils, E. (1968): Criteria for Scientific Development: Public Policy and National Goals, Cambridge (Mas.)-London: MIT Press.

⁴ <https://eu-macs.eu/outputs/livinglabs/panelmanagement/>

innovación regional, fomenta la participación de la cuádruple hélice, tal y como ha sido implementado en Asturias⁵.



Modelo de Innovación de cuádruple hélice implicado en el desarrollo de redes colaborativas con la participación activa de la sociedad, que genera nuevas áreas de oportunidad con el resto de agentes implicados. Fuente: Proyecto GRRIP (<https://grrip.eu/>).

Existen dos tesis acerca de qué desencadena el nacimiento del concepto moderno de política científica. La primera, apoyada por el mayor número de autores, defiende que fue dentro del ámbito europeo, a principios del s. XX, muy en línea con el proceso bélico que a principios de siglo azotaba el mundo, me refiero a la Primera Guerra Mundial. Antes de entrar en harina, permítanme la oportunidad de citar un ejemplo histórico de retraso tecnológico que, ya a finales del s. XIX, suponía diferencias entre naciones. Me refiero a la derrota que sufrió España en la Guerra de Cuba, en 1898, donde una obsoleta, decrepita y anticuada flota española cayó en Santiago de Cuba ante una armada estadounidense muchísimo más moderna. De hecho, no llegó a haber ni batalla, ya que los navíos españoles fueron hundidos a distancia mientras trataban de salir del puerto⁶. Volviendo a la Primera Guerra Mundial ¿Dónde estaba España científicamente en aquellos momentos? Pues estábamos en una línea muy avanzada, en una posición vanguardista, con la presencia de la Junta de Ampliación de Estudios e Investigaciones Científicas (JAE), a cuyo frente se situaba la excelsa

⁵ <https://s3platform.jrc.ec.europa.eu/en/w/s3-design-learning-workshop>

⁶ <https://www.despertaferro-ediciones.com/2017/batalla-naval-de-santiago-de-cuba/>

figura de Santiago Ramón y Cajal, quien con tanto ahínco reclamó el reconocimiento del término “política científica” y reclamó para ella su aplicación y su desarrollo.

Permítanme detenerme durante unas líneas sobre la figura de Ramón y Cajal. Soy uno de los pocos afortunados de haber podido recuperar, impreso en papel, el libro escrito por Enriqueta Levy, la que fuera secretaria y colaboradora del gran científico, la que conocía como nadie su día a día y que de forma tan grácil recogió en dicho libro.⁷ En un primer término y de la lectura de los primeros capítulos, cabe resaltar la gran figura del Nobel, su pensamiento multifacético, su personalidad con diferentes aristas, pero sobre todo su obra. Cabe destacar que Don Santiago rechazó varias veces ser Ministro de Instrucción Pública, lo que hoy sería equivalente a ser Ministro de Educación, pero no rechaza presidir la Junta de Ampliación de Estudios. Se trata por tanto de una persona que ha sido clave en la actual configuración de la ciencia española, quizás ha sido la más influyente y significativa, pero sobre todo ha sido la más completa. España fue el lugar donde se desarrolló su genio y de él, otro Nobel como Severo Ochoa escribiría años más tarde que: *«Aquí salió una estrella solitaria, como Ramón y Cajal, pero eso fue un milagro»*⁸.



Dstrucción de la flota del almirante Cervera en la batalla naval de Santiago de Cuba, 3 de julio de 1898, cromolitografía por Xanthus Russell Smith (1839-1929) publicada por J. Hoover & Sons. Consultada en la web de Ediciones DespertaFerro

⁷ Santiago Ramón y Cajal (1987) Enriqueta Lewy. Consejo Superior de Investigaciones Científicas.

⁸ Gómez Santos, Marino. Severo Ochoa no era de este mundo. Editado por renacimiento editorial.

Es interesante seguir recuperando muchos de los valores y principios que alumbran la gran obra del sabio navarro-aragonés, así como su trayectoria vital, ya que no solo sus trabajos en la neurohistología, sino su vertiente humanista y su implicación social, hacen de él –y por extensión de las personas herederas de la Escuela Neurológica Española- un ejemplo para todos aquellos que nos dedicamos a la ciencia, en alguna de sus diferentes facetas. A mayores de sus descubrimientos y de su rechazo a ser Ministro de Educación, es muy probable que muchas personas no sepan que su formación la realizó íntegramente en España, es decir, su vanguardista investigación es, por así decirlo, un producto 100% español. Es también poco probable que la gente sepa que tres de sus discípulos también estuvieron a punto de alcanzar el premio Nobel, me refiero a Fernando de Castro, a Pio del Río Hortega y a Rafael Lorente de Nó. Y por supuesto es mucho menos probable que sepan que este último fue el precursor del exilio científico, fenómeno que desgraciadamente explotaría en España durante la guerra civil y que nos sumiría, como país, en un retraso en cuanto a la evolución científico tecnológica se refiere. Otros, como Fernando de Castro, permanecieron en España con el fin de garantizar la continuidad del trabajo y obra de Ramón y Cajal⁹.



Autorretrato tomado por Santiago Ramón y Cajal en su laboratorio de Valencia (España) cuando tenía poco más de treinta años, c. 1885-1887. Fuente: Legado Cajal. Consejo Superior de Investigaciones Científicas.

⁹ Reconocimiento a cinco siglos de medicina española. José A. Gutiérrez Fuentes (Coord.), Fundación Ramón Areces.

Dice Enriqueta Levy en el libro citado anteriormente, refiriéndose a otros escritos de Ramón y Cajal, que este confesaba a Unamuno como «*España debe desarrollar su genio propio, su personalidad original en arte, filosofía, literatura, hasta en el modo de consolidar la vida... hay escuelas filosóficas, literarias, artísticas, pero solo hay una ciencia, la cultivada desde Galileo a Pasteur y Claude Bernard. Todo nos urge, pero sobre todo la ciencia que es de lo que vamos peor*» (página 176). Posteriormente, en la página 203 recoge que, en opinión del sabio –es decir de Ramón y Cajal– «*la dependencia de otras naciones y la pérdida de la soberanía la sufren aquellos países que no cuentan con economía y ciencia propia*». Y termino esta alusión a la figura de Don Santiago con una cita de otra de sus grandes obras, “Los Tónicos de la voluntad” donde afirma aquello de que «*tengo a gala renovarme*» y lo otro de que «*el culto a la consecuencia [...] en ciencia resulta casi siempre señal inequívoca de orgullo o cortedad de luces. La variabilidad es uno de los rasgos que mejor traducen la honradez del investigador*»¹⁰. Son dos claras alusiones a la visión a largo plazo y a la cultura innovadora cuyo fomento impregna como nunca antes nuestros días y nuestras actuaciones.

Siguiendo con mi recorrido por la historia de la ciencia, existe una segunda opción para el surgimiento del concepto de política científica, y que defiende que esta arranca en los Estados Unidos a través del lanzamiento del programa *Science: The Endless Frontier*, que fue puesta en marcha bajo el mandato de los presidentes Roosevelt y Truman e implementada por el asesor Vannevar Bush. Este programa es, aún hoy, un excelente documento para iniciarse en algunas de las cuestiones más críticas a la hora de pensar en una estrategia política, se esté en el ámbito científico que se esté¹¹.

Esta tesis orbita entorno al ambiente de victoria que se respiraba en los Estados Unidos tras la II Guerra Mundial, y en los que gran parte del reconocimiento de tal victoria se atribuía a la ciencia y a la tecnología. Es interesante recoger que este reconocimiento siguió impregnando el discurso de los presidentes posteriores, y exceptuando a JFK y su misión científica con la que consiguió llegar a la luna, Barak Obama afirmaba que «*La ciencia y la tecnología han conseguido que Estados Unidos sea el mejor país sobre la Tierra*»¹². Desgraciadamente esto pasó a través de unos desarrollos que perseguían poner ciencia y tecnología al servicio de la destrucción masiva y de la muerte, como fue el caso de la bomba atómica, aunque hay otros casos, como el sonar y el radar, desarrollados ambos por los británicos, que proporcionó una ventaja competitiva frente al ejército alemán y permitió salvar muchísimas vidas a través de la detección y anticipación al enemigo.

En realidad, soy más partidario de la primera de las tesis, ya que este segundo relato alternativo, que pospone casi 40 años la idea de un desarrollo científico tecnológico organizado y orientado, parece obedecer más bien a la intención de los vencedores

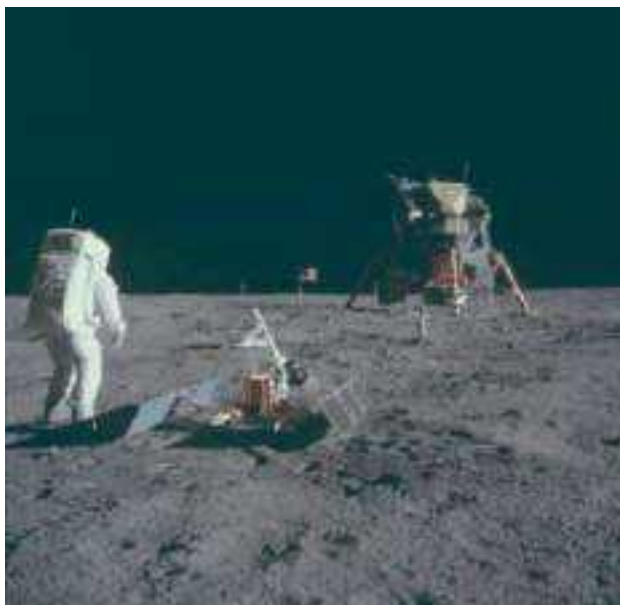
¹⁰ Santiago Ramón y Cajal, Los tónicos de la voluntad: reglas y consejos sobre investigación científica. Editorial Gadir.

¹¹ <https://www.nsf.gov/od/lpa/nsf50/vbush1945.htm>

¹² <https://www.youtube.com/watch?v=k5-MgZD5IMc>

a la hora de contar con un mejor modelo de desarrollo científico tecnológico, tal y como defienden los autores Robert Merton y Norman Storer¹³.

Nótese que, además y en el caso de esta segunda tesis, nos encontramos con una situación en nuestro país dramáticamente diferente a la anterior. En la primera, contábamos con la Junta de Ampliación de Estudios (JAE) y un ecosistema científico floreciente. En la segunda, nos aparece una España devastada por una guerra civil, ya no se cuenta con la Junta de Ampliación de Estudios, totalmente desmantelada, la comunidad científica, docente, cultural, política, la sociedad en general sufre un importante exilio. En esos momentos se asiste al nacimiento del Consejo Superior de Investigaciones Científicas, que si bien lo hace con la gran carga ideológica imperante en la época, responde a modelos europeos gracias al empuje –para bien o para mal– de José María Albareda. El que hoy es el organismo de investigación pública más importante de España, el tercero a nivel europeo, ha discurrido a través de un camino no sin sobresaltos incluidas amenazas de cierre. Para empezar con su creación, si bien el CSIC toma el relevo de la JAE tanto a nivel organizativo como de infraestructuras, las imposiciones ideológicas lo hacen depender del por aquel entonces Ministerio de Educación Nacional, y cuyo titular, el ministro Ibáñez Martín, era su Presidente a efectos de representación de la institución. Quedaba Albareda como Secretario General y por tanto como la máxima autoridad ejecutiva.



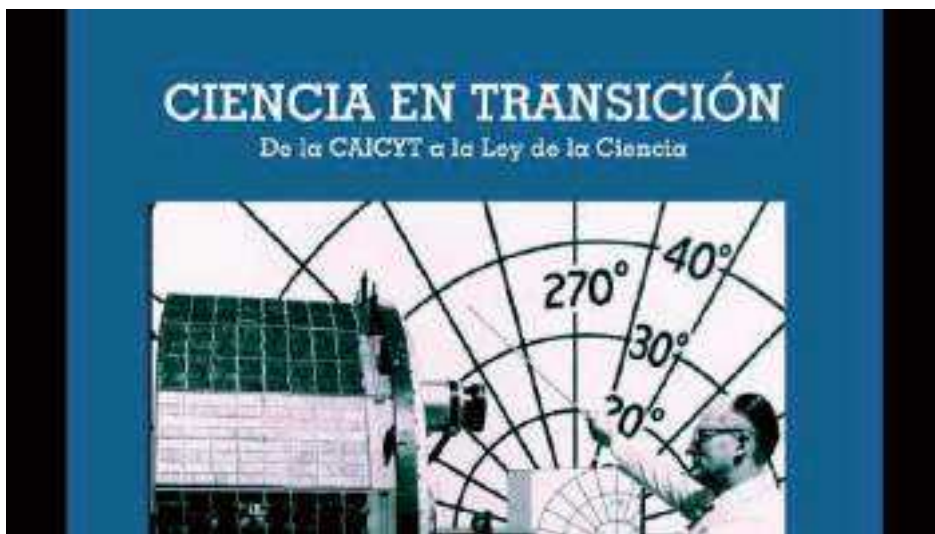
Un momento de los experimentos realizados durante el Programa Apolo en la superficie lunar. Este programa supuso un impulso definitivo a la ciencia e innovación estadounidenses, de la mano de las agencias gubernamentales y de ambiciosos programas.
Imagen libre de derechos de autor.

¹³ Robert K. Merton, Norman W. Storer (1977) La sociología de la ciencia investigaciones teóricas y empíricas. Editorial Alianza.

Con estos mimbres se afrontaba la tarea de volver a desarrollar una suerte de política científica en España. Insisto que, para bien o para mal, hay que reconocerle a este científico y sacerdote su lucha frente a las reacciones adversas provenientes de otros departamentos ministeriales, como los de agricultura e industria, así como el diseño del primer intento por conseguir un modelo de carrera investigadora, una actividad sin duda arriesgada en aquellos tiempos¹⁴.

Fueron intentos, no obstante, que no rindieron los frutos esperados y en el año 1959 se crea la Comisión Asesora de Investigación Científica y Técnica (CAICYT), de tal forma que su mandato consistió en suplir –y asumir– aquellas cuestiones que el CSIC no pudo –o no se le dejó– desplegar en lo que a términos de estrategia científica se refería. Una diferencia muy relevante de la CAICYT con respecto al CSIC, es que la primera dependía directa y jerárquicamente de la Presidencia de Gobierno aunque, cosa curiosa, sus dependencias se localizaron en la misma sede central del CSIC.

Al frente de CAICYT se ubicó Manuel Lora-Tamayo, a la postre ministro en 1962, primero de Educación Nacional y después de Educación y Ciencia a partir del cambio de denominación ministerial producido en 1966 y por iniciativa del propio Lora-Tamayo. Siendo ya ministro, consigue que las escalas del CSIC fueran reconocidas dentro del sector público estatal, y este es un paso clave hacia la integración del consejo en la administración pública española. Un camino no exento de dificultades, pugnas, desacuerdos y, por qué no, contradicciones.



Portada del Seminario "Ciencia en transición. De la CAICYT a la Ley de la Ciencia", coordinado por Santiago M. López y Lorenzo Delgado, del IH y del CCHS del CSIC, respectivamente, donde se analiza el tránsito desde la Comisión Asesora de Investigación Científica y Técnica en 1959, hasta la aprobación de la Ley 13/1986, de 14 de abril, de Fomento y Coordinación General de la Investigación Científica y Técnica.

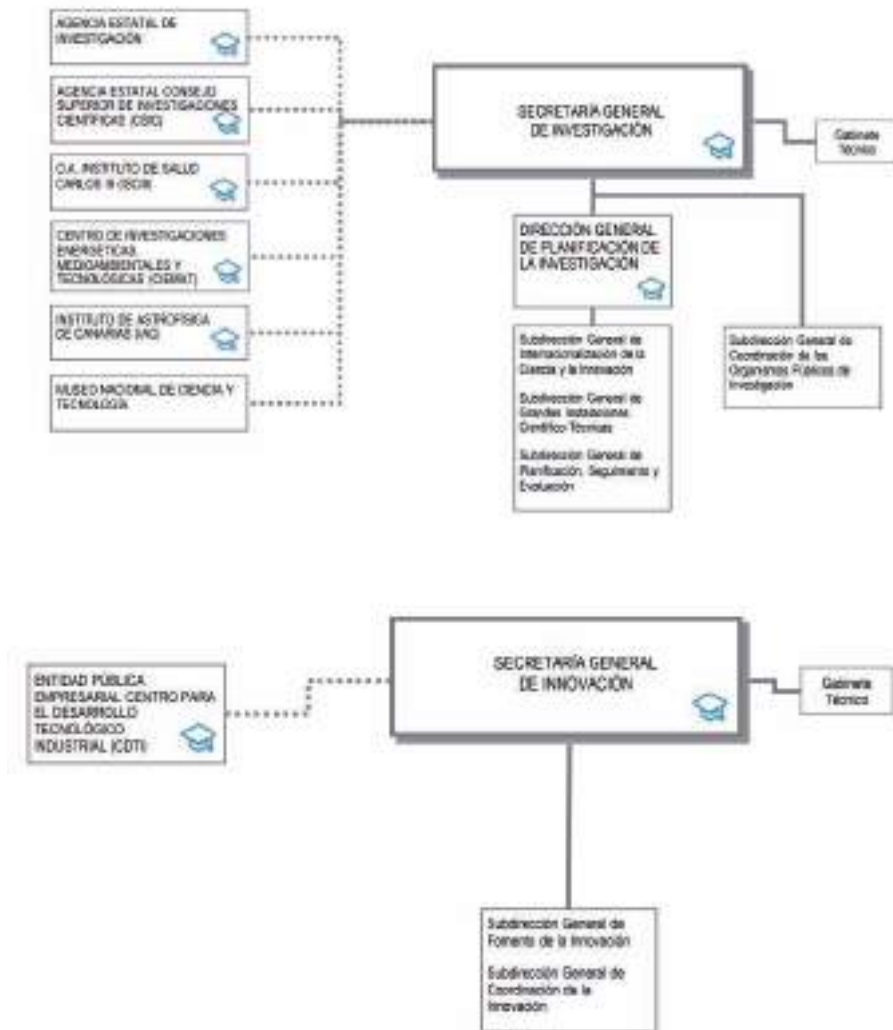
¹⁴ Pérez-López, P. "San Josemaría y José María Albareda (1935-1939)" *Studia et Documenta*, 6 (2012) pp. 13-66.

Avanzamos rápido y nos situamos en los últimos coletazos y bocanadas de la dictadura, caracterizado desde el punto de vista científico por la llegada de un conjunto de tecnócratas con una misión clara: transformar un sistema económico español, lastrado y aquejado de importantes trabas competitivas tras tantos años de autarquía. Con los tecnócratas aparecen los Planes de Desarrollo, una estrategia, la de dichos planes, que se desmorona con la fuerte crisis económica y social que se establece en el país tras la muerte del dictador. Fue la transición un período de cambios, de avances, si bien a partir de entonces la ciencia española ha experimentado diferentes sacudidas y un camino parecido al tránsito por picos y valles, situaciones que han resultado a veces positivas pero otras veces muy negativas. Los primeros años de la democracia comprenden una época de avances con la creación del Plan Nacional de Investigación o de la ley de Ciencia de 1986, pero es también una época donde la gestión científica se ve todavía domeñada y perimetrada por un ambiente administrativo complicado, propio de una Administración Pública que, en la época, poco conocía acerca de las peculiaridades de gestionar investigación, desarrollo e innovación.

A partir de aquí, los picos y valles que sufre la ciencia aparecen como un recorrido de evoluciones (éxitos) y contra-evoluciones (errores). Durante los años 80 los éxitos se resumen en una estrategia clara de partida, con una conformación y selección muy cuidada de los equipos y una selección de los liderazgos a los diferentes niveles que permitían cierta capacidad de interrelación entre los diferentes departamentos ministeriales. Un hecho recurrente es que, durante las sucesivas crisis económicas y energéticas, se constatarán recortes en investigación y desarrollo tecnológico, con la feliz excepción que estamos viviendo actualmente tras la crisis de la COVID19 de la mano del Ministerio de Ciencia e Innovación. Mientras se sucedían los cambios de gobierno popular se produjo, de forma generalizada y con muy honrosas excepciones, una falta de cultura científica en los equipos de gobierno, aunque se crean instituciones innovadoras como la OCYT (Oficina de Ciencia y Tecnología de la Presidencia) o del Ministerio de Ciencia y Tecnología. De todas formas, la falta del sustrato necesario a partir del conocimiento de los diferentes sectores, y la falta de liderazgo no consolidaron su efecto positivo para con la ciencia española.

Tendremos que esperar hasta el segundo milenio para, siguiendo los movimientos de reforma que se establecen en la Administración Pública de la mano de Jordi Sevilla, comience a preconizarse el sistema de agencias estatales, tan importante para comprender el sistema de gestión científica que tenemos hoy en día ya no con una, sino con cuatro agencias ministeriales financiando programas de I+D+i: CSIC, AEI, CDTI y el Instituto de Salud Carlos III. Si bien la creación de dichas agencias permitió comenzar a caminar hacia modelos administrativos de gestión ágiles recordemos, sin embargo, que estas agencias estuvieron a punto de desaparecer de la mano de la ley 40/2015, una ley que ya en su exposición de motivos habla de la limitada eficacia de este modelo de ente público, de su escaso desarrollo posterior, y de la imposibilidad de haber conseguido una autonomía financiera. Esa ley nace en un período donde España se encuentra inmersa en una época de control de gasto, donde el propio CSIC estuvo a punto de entrar en quiebra técnica en 2012, y donde

lo que quería imponerse era un sistema de fiscalización previa que, a la postre, ha terminado desapareciendo en el resto de organismos públicos de investigación¹⁵. Tras estos años de impulso a partir del año 2000, la ciencia es de nuevo la gran perjudicada tras la crisis de 2008 y no es tras la recuperación del Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades en 2018, cuando la ciencia española entra de nuevo en una dinámica de apoyo y crecimiento por parte de las más altas instancias gubernamentales.



Organigramas de las dos Secretarías Generales de Investigación y de Innovación, según consta en el Portal de la Transparencia de la Administración General del Estado. <https://transparencia.gob.es/>

¹⁵ https://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-A-2015-10566

Como sinopsis, decir que España ha tenido, en los últimos 120 años, cuatro periodos de particular importancia en la apuesta estratégica de unas políticas por y para la ciencia. La primera coincidente con el final del s. XIX y primer tercio del s. XX, el más largo y al que los historiadores de la ciencia españoles han definido como “la edad de plata de la ciencia española”; el segundo, la época tecnocrática durante el franquismo con los Planes de Desarrollo y que se extiende a lo largo de una década hasta la muerte de Franco. Por último, la primera parte de la transición que se extiende desde 1977 hasta la crisis del principio de los noventa, con la creación del Ministerio de Universidades e Investigación en 1980 la subsiguiente apuesta de los primeros gobiernos democráticos por la modernización de nuestro país. A partir de ese momento los periodos de apoyo a la ciencia y la investigación han sido más personalistas que estratégicos y más cortos y sincopados, y muchos de sus desarrollos no tuvieron continuidad por notables carencias en la estrategia de puesta en marcha y seguimiento. Tras la recuperación del Ministerio de Ciencia e Innovación, y con el catalizador de la crisis social y económica de la pandemia, se vislumbra un quinto periodo que probablemente sea, el que definitivamente, nos coloque en sintonía con Europa.

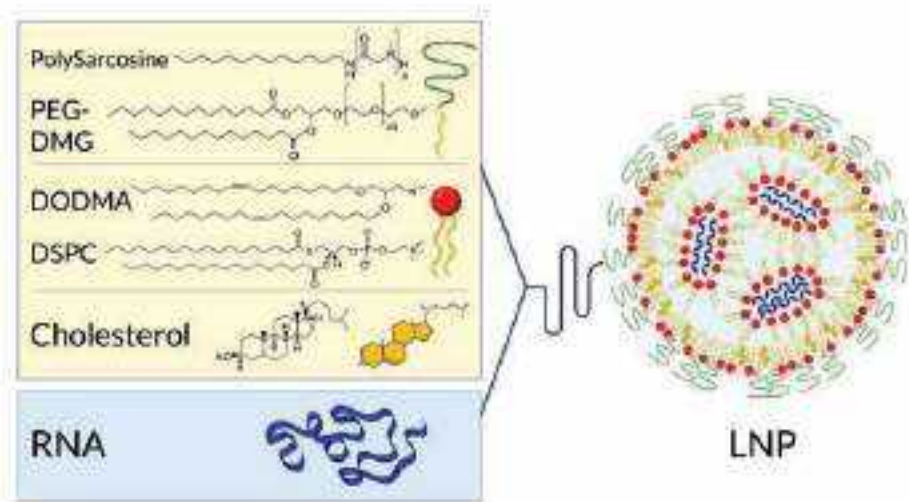
Como finalización de este apartado, me gustaría citar un trabajo que lleva por título: “La investigación: una prioridad a prueba”, que fue editado por el Círculo Cívico de Opinión en diciembre de 2012. En dicho trabajo se argumenta que, si en España se hubiera invertido en ciencia lo mismo que nuestros vecinos de la OCDE desde 1970, en el año 2005 habríamos sido un 20% más ricos “por cabeza”.

II.2. ¿Para qué sirve la ciencia?

La pandemia causada por la COVID19 ha venido a inducir un cambio cualitativo en la percepción que la sociedad española tiene sobre la importancia de la ciencia. La ciudadanía ha visto cómo en cuestión de meses se ha transferido el trabajo de miles de científicos, hablamos de trabajos de más de 30 años, en forma de vacunas de ARN mensajero. Posteriormente, y según fue avanzando la vacunación, la ciudadanía ha sido testigo de cómo las muertes primero y los casos graves después sufrieron un acusado descenso. La ciencia evitó por tanto lo que parecía inevitable: que los sistemas sanitarios colapsasen. Pero la relación entre ciencia y sociedad no ha sido siempre fácil –y previsiblemente no lo será–. Recuerdo documentos, como el primer informe sobre ciencia y tecnología de la Fundación Alternativas¹⁶, que referían datos tan preeminentes como que solo el 20% de la población española se interesaba por noticias científico-tecnológicas, mientras que la media para el conjunto de países de la Unión Europea era del doble. Según la última encuesta pre-pandemia de Percepción Social de la Ciencia y la Tecnología en España, publicada por la Fundación Española para la Ciencia y la Tecnología, el 14% de los españoles declaraba estar interesado en la ciencia y tecnología, frente a un 25% que no lo

¹⁶ <https://www.fundacionalternativas.org/las-publicaciones/informes/informe-sobre-la-ciencia-y-la-tecnologia-en-espana>

estaba¹⁷. Ese bajo interés por la ciencia respondía sin duda al recorrido histórico que de forma breve esbozaba en el apartado anterior, que ofrecía resultados curiosos como que la profesión de científico era de las más valoradas.



Componentes necesarios para la creación de nanopartículas lipídicas (LNP), base de las vacunas basadas en RNA mensajero. Polyethyleneglycol-Dimyristoyl glycerol (PEG-DMG), 1,2-Dioleoyloxy-3-dimethylaminopropane (DODMA), 1,2-distearoyl-sn-glycero-3-phosphocholine (DSPC). Creador: Cristina Sala/BioNTech. Copyright: CC-BY-NC-ND 4.0

Son innumerables los trabajos que enumeran los beneficios que reporta la ciencia a las sociedades que apuestan por ecosistemas de conocimiento. La ciencia, el conocimiento científico tecnológico, son nuestra única garantía de futuro y adaptación ante ambientes cada vez más variables, inciertos, complejos y ambiguos. Protegen cuestiones tan básicas como la salud, la alimentación, la energía, nuestra seguridad y la calidad de vida de la que disfrutamos.

En un ambiente y ante futuros volátiles, la ciencia se desempeña actualmente de una forma cada vez más multi- y transdisciplinar, colaborativa e internacional. Los avances científicos se producen en cualquier lugar del mundo y son aprovechados en cualquier otro lugar a través de su publicación en abierto. El funcionamiento de la ciencia actual viene a ser más bien como el caudal de un río, donde los conocimientos se empujan unos a otros y hacen avanzar el estado del arte, es decir, hacen fluir al río.

La ciencia muchas veces resulta en aplicaciones inesperada; de la misma manera que no podemos prever qué parte del caudal de un río va a ser aprovechada, por ejemplo, para consumo humano, y qué parte va a acabar en el mar. Aquí tenemos innumerables ejemplos, como es el caso del teorema sobre los números primos

¹⁷ <https://www.fecyt.es/es/noticia/encuestas-de-percepcion-social-de-la-ciencia-y-la-tecnologia-en-espana>

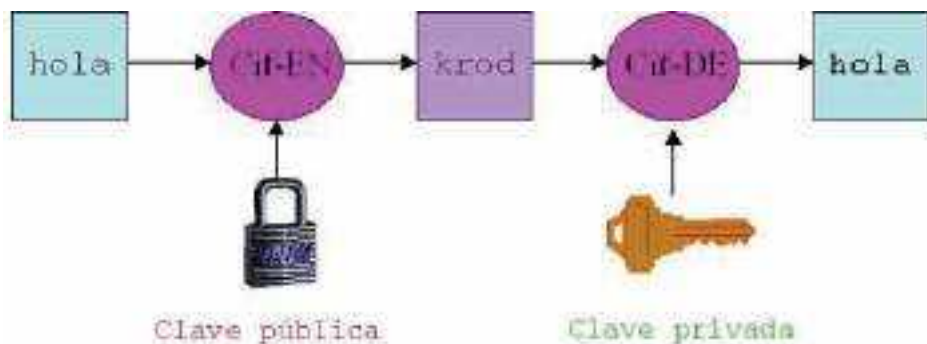
desarrollado por el matemático francés Pierre de Fermat allá por el s. XVII y que, si bien tenía como objetivo comprender mejor este subconjunto propio de los números naturales, fue transformado en el conocido como test de Miller-Rabin, en 1974, por parte de los matemáticos Gary Miller (Canadá) y Michael Rabin (Israel). Este test fue a su vez la base del sistema criptográfico RSA (siglas correspondientes a Rivest, Shamir y Adleman). Dicho sistema, basado en claves consistentes en grandes números primos, es el que nos permite cifrar nuestras comunicaciones o proteger nuestras transacciones bancarias en la actualidad. Nadie pudo haber previsto estas aplicaciones en el s. XVII.

Otro ejemplo de aplicación no buscada es un artículo del matemático británico Alan Turing, quién estableció en 1936 que no toda proposición lógica es susceptible de ser probada o refutada mediante un procedimiento mecánico, y que tuvo como efecto colateral el establecimiento de las bases a partir de las que, gracias a los algoritmos y a las máquinas programables, surgirían posteriormente los ordenadores personales.

Durante los últimos 20 años se han venido realizando esfuerzos cada vez mayores con los que la comunidad científica ha tratado de ir acercando la ciencia a la sociedad, y donde se ha puesto de relieve el gran y positivo impacto de invertir de forma estable, ambiciosa y ordenada en ciencia. Estos esfuerzos han ayudado a muchas personas a entender mejor la importancia de la ciencia, y también está estimulando el interés de los más jóvenes por la misma, despertando y manteniendo vocaciones a lo largo de las diferentes etapas educativas. Estamos comprobando que, como región, como país y, en definitiva, como sociedad, una mayor cultura científica es clave para adaptarnos a las diferentes crisis y condiciones cambiantes de nuestro entorno.

El conocimiento en general y el conocimiento científico tecnológico en particular son factores decisivos para nuestro desarrollo económico y social. Todas las palas que conformamos esa cuádruple hélice tenemos el deber de participar como agentes activos en el desarrollo de las estrategias científicas y fomentando la cultura científica, cada uno desde su nivel. Así lo exponía, de forma magistral, el genetista Ginés Morata en una de sus conferencias, donde afirmaba que *«La cultura del siglo XXI que acaba de comenzar va a ser una cultura científico-técnica, ya lo ha sido en gran parte la del siglo XX. Si aspiramos a formar parte del grupo de los países avanzados, la sociedad en general y nuestros políticos en particular, deben concienciarse de la gran importancia de este hecho y consecuentemente promocionar el desarrollo científico-tecnológico.»*¹⁸

¹⁸ Tomado del discurso para el nombramiento como doctor Honoris Causa por la Universidad Pública de Navarra de Pedro Miguel Echenique en 2008.



Sistema de encriptación asimétrica donde un mensaje, en este caso "hola", es encriptado a través de una clave pública. Este mensaje solo podrá ser descifrado por un usuario que tenga en su poder una clave privada complementaria a la clave pública. El algoritmo RSA es uno de los más utilizados para utilizar este tipo de esquemas. Fuente: Departamento de Ciencia de la Computación e Inteligencia Artificial de la Universidad de Alicante.

Ciencia, tecnología e innovación han sido, son y serán decisivas para el desarrollo económico y social de la humanidad. El avance en el conocimiento científico y su transferencia, divulgación y difusión hacia la sociedad y hacia el tejido productivo, van a ser cruciales a la hora de resolver rápidamente procesos complejos, ya sean económicos, sociales o éticos, y también de superar crisis. En esta ecuación, la sociedad debe participar activamente en la definición de sus fines y retos, contribuyendo a que aquella frase de Einstein que afirmaba como la "perfección en los medios y confusión en los fines caracterizan nuestra época" no sea nunca más una realidad. Los grandes problemas y crisis a los que se enfrenta y enfrentará la humanidad –imaginemos un cambio climático que afectase a los equilibrios en los entornos naturales impactando sobre agua, salud, alimentación y energía– no encontrarán solución sin una aproximación donde exista un componente científico. Se le atribuye a Churchill la siguiente frase «*Scientists should be on tap, but not on top*», que podría ser traducida como que tenemos que tener a la comunidad científica a mano, pero no dejarla estar en puestos de decisión. Ni negro ni blanco, la ciencia –y las personas que la hacen posible– son indispensables para contribuir no solo a resolver problemas y a retos de gran complejidad técnica, sino a una sociedad más inclusiva y justa, a luchar contra lacras como la intolerancia, la violencia o el fundamentalismo, a reducir las brechas y las desigualdades y a anticipar consecuencias indeseables y perniciosas del cada vez más rápido cambio tecnológico. El conocimiento científico tecnológico es una herramienta muy poderosa, es la única garantía de progreso para una sociedad que no debe dejar a nadie atrás.

Tras la crisis socioeconómica provocada por la COVID19, podemos afirmar que, de forma general, la sociedad comparte con la comunidad científico-tecnológica la importancia de invertir tanto en I+D como en innovación. Si bien es sencillo explicar la importancia de investigar en aquellos mecanismos que se piensa van a proporcionar una cura a una enfermedad, o en la creación de nuevos modelos de negocio, esto se torna más difícil en el caso de explicar aquella investigación básica

que no está orientada hacia un uso o aplicación concreta. Es paradójico que este tipo de investigación puede igualmente resultar en cambios y aplicaciones disruptivas, como ha sido el tan reciente caso de la tecnología CRISPR o de la tecnología de ARN mensajero. Si hoy se le preguntase a cualquier persona de la calle si considera importante o no que existan grupos de investigación sobre los coronavirus, y por azar no escogemos a un negacionista, la respuesta será totalmente distinta a la que esa misma persona hubiera emitido hace 4 años, antes de la irrupción del virus en nuestras vidas.

Está firmemente establecido que existe una correlación positiva entre la ciencia y la riqueza de las sociedades¹⁹, pero bien es sabido que la correlación no implica causalidad, y de hecho no es difícil llegar a cuestionarse si una sociedad es más rica porque invierte más en investigación y desarrollo o, viceversa, si invierte más porque se lo puede permitir. La economía viene estudiando los factores de producción desde tiempos de Adam Smith²⁰. El nexo entre inversión en investigación y crecimiento macroeconómico es a veces muy sutil, pero ha sido establecido repetidamente a lo largo del tiempo a partir de fuentes muy diversas. Una forma relativamente sencilla es fijarse en la evolución del PIB per cápita, que generalmente ha crecido en todas las sociedades industrializadas a lo largo del s. XX. De entre los diferentes factores de producción, podemos distinguir entre aquellos denominados “clásicos”, como el trabajo y el capital, pero que por sí solos explican el 50% de esa evolución de la riqueza en términos de PIB per cápita²¹. La introducción de otros factores de producción “alternativos” –entiéndase que la denominación de alternativos solo pretende diferenciarlos de los anteriores–, como la ciencia, la tecnología o la innovación, sí que permiten explicar esos porcentajes no explicados. Si bien ante esta explicación, resultaría tentador pensar en beneficiarse de la inversión en I+D de otros países para aprovecharnos nosotros de ella, ya que el conocimiento científico tecnológico es público, internacional y por lo tanto colectivo, no es aconsejable caer en esta suerte de vuelta al “que inventen ellos”, puesto que los mayores esfuerzos en I+D suelen ir asociados a estrategias para proteger la propiedad intelectual e industrial de los ulteriores desarrollos, así como a un anclaje territorial de los ecosistemas universitarios, tecnológicos y de conocimiento, que a su vez condicionan la eficacia y eficiencia de las redes donde se plasma esa transferencia de conocimiento²². Por eso el establecimiento de instituciones científicas vanguardistas, estables, la presencia de políticas sostenibles y sostenidas en el tiempo, la visión a largo plazo y el fomento de la cultura científica en todos los estamentos de la sociedad son indispensables para que la ciencia responda a nuestras necesidades sin descuidar el esencial avance en el conocimiento.

¹⁹ https://datos.bancomundial.org/indicador/GB.XPD.RSDV.GD.ZS?end=2018&locations=IL-KR-CH-SE-JP-AT-DE-DK-US-BE-ES&most_recent_value_desc=true&start=1996&type=shaded&view=chart

²⁰ Smith, Adam. La riqueza de las naciones.

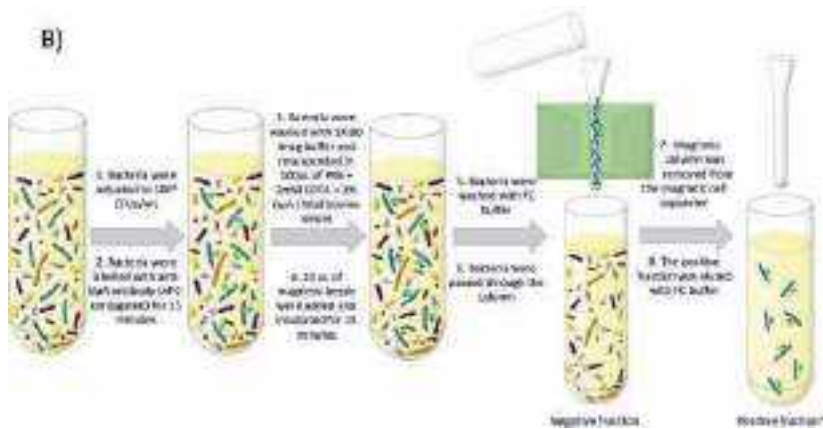
²¹ W.H. Press, Science 342, 817. 2013.

²² G. Hardin, Science 162, 1243. 1968.

II.3. Ciencia básica versus ciencia aplicada

He querido dedicarme a la investigación y a la música desde que descubrí los libros de ciencia ficción de Julio Verne, de HG Wells, y la misión Apolo, y desde que comencé a tocar la flauta dulce en el colegio y posteriormente descubrí la armonía y el contrapunto con el estudio de las obras de JS Bach. El sistema que imperaba en la Asturias de 1998 hizo imposible poder seguir con la música de forma oficial, y me hizo decantarme por la carrera científica.

Creo que este bagaje me habilita para afirmar que solo el investigador entiende la inmensa satisfacción personal que ocurre cuando se encuentra explicación a un fenómeno desconocido y que, por insignificante que nos parezca, representa un pequeño avance para el progreso y la mejora de la humanidad, una pequeña molécula más de agua en el caudal del río. Durante muchos años, estudié el mecanismo de acción de aquellos microorganismos que componen la microbiota intestinal sobre el sistema inmunitario, y me centré en las proteínas de su superficie y de los péptidos que se liberan a partir de ellas a partir del fenómeno conocido como proteólisis. Siempre me ha interesado la enfermedad inflamatoria intestinal, enfermedad en la que cada paciente es único, y en la que nuestras defensas atacan a esa comunidad de microorganismos que, entre otras cosas, producen sustancias esenciales o nos protegen contra patógenos. Siempre me ha llamado la atención el debate sobre la ciencia básica y la aplicada, base a su vez de la fórmula I+D+i. Decía Bernardo Alberto Houssay, Premio Nobel de Medicina en 1947, que “no hay ciencia aplicada sin ciencia que aplicar”. La distinción entre ciencia básica y aplicada ya ha sido abordada en alguna de las referencias citadas en este discurso de contestación, notablemente por Santiago Ramón y Cajal y por Peter Medawar.



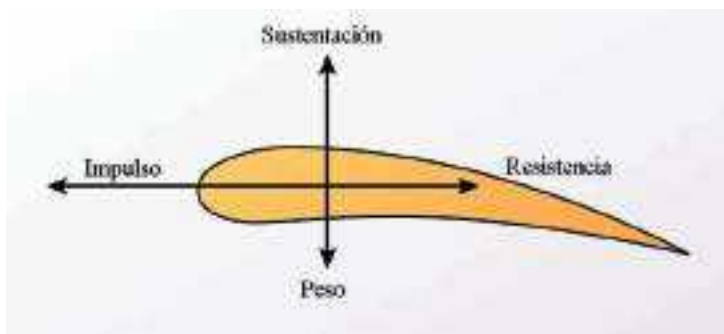
Representación esquemática del protocolo de enriquecimiento o eliminación de una especie objetivo de la microbiota intestinal. Este método combina conocimiento sobre las moléculas presentes en la superficie de los microorganismos, así como sistemas de citometría de flujo y medios de cultivo adecuados. En “Marcos-Fernández, R., Ruiz, L., Blanco-Míguez, A. et al. Precision modification of the human gut microbiota targeting surface-associated proteins. *Sci Rep* 11, 1270 (2021)”.

Las innovaciones que provienen de la I+D en forma de nuevos productos o servicios, pueden ser graduales o disruptivas. Normalmente, una estrategia que solo busque la aplicación en el corto plazo suele venir acompañada de innovaciones graduales y de una pérdida del músculo disruptivo, que requiere de fases de investigación y de desarrollo mucho más largas. Esto es muy similar a la teoría de la evolución de Charles Darwin, la cual es muy eficiente explicando la microespeciación, es decir, los pequeños saltos que hacen ir adaptándose a las especies a las condiciones cambiantes del entorno, pero que no explica el surgimiento de nuevas especies, cuestión para la que parecen estar mejor amoldadas otras teorías como la deriva génica o el efecto fundador. Si miramos al registro fósil, la tónica habitual es que una especie cambie muy poco desde que aparece hasta que se extingue.

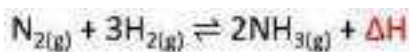
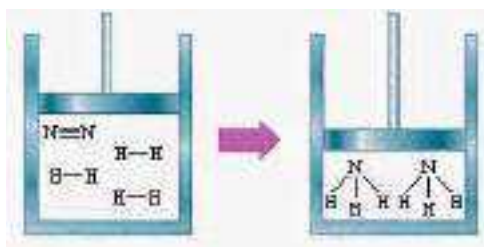
El primer reto al que me enfrenté como investigador predoctoral, fue el de responder a esa pregunta que seguramente nos han hecho a todas las personas que nos dedicamos a la ciencia: ¿y eso que investigas, para qué sirve? Esta es una pregunta que puede ser más o menos difícil de responder dependiendo del ámbito o de la rama del saber en la que se desarrolle nuestro trabajo. De hecho, puede ocurrir que ni siquiera se tenga pensada una aplicación a corto para esa cuestión a la que le llevas dedicando meses o años de estudio. Mis temas de investigación siempre se han caracterizado por entender el funcionamiento de fenómenos o procesos, no por buscar aplicaciones inmediatas ¿Por qué nuestro sistema inmunitario reacciona frente a nuestra microbiota intestinal? ¿Qué mecanismo desencadena la enfermedad inflamatoria intestinal? Sin embargo, esos fenómenos y procesos, una vez convenientemente explicados, dominados y modificados, han resultado de aplicación en diferentes ámbitos (agroalimentario y biomédico principalmente) y ha llevado a la licencia de varias patentes y a la creación de una empresa de base tecnológica que dentro de poco contará con 11 trabajadores. Soy un firme defensor de que la generación de conocimiento, en equipos de un fuerte carácter multidisciplinar, es una fuente inagotable de generación de aplicaciones. Pero esto requiere de una serie de características para el científico y para la científica que, si bien pueden estar ausentes, son muy fáciles de desarrollar: me refiero a la capacidad de escucha activa, empatía, humildad y generosidad.

La aparente diferencia entre investigación básica o aplicada, depende más bien del enfoque con el que nos aproximemos a ambos términos, y no tanto de su desempeño. Si buscamos solucionar un problema o atender un reto de forma práctica y rápida hablaremos de ciencia aplicada, mientras que si tratamos de entender el mecanismo o proceso que hace que surja ese problema o reto, lo cual puede llevarnos mucho más tiempo, hablaremos de investigación básica. Nótese aquí el absurdo, puesto que una vez identificado y controlado el mecanismo que origina dicho problema, tendremos a nuestra disposición toda una fuente de aplicaciones. Además, y por norma general, la mayor parte de estas soluciones a corto plazo se apoyan en una gran y creciente cantidad de datos teóricos, fruto del trabajo de miles de científicos, es decir de nuevo apuntamos a la investigación básica. Las vacunas basadas en ARN mensajero son un claro ejemplo. Que una investigación no busque una aplicación no quiere decir que no la tenga, y de hecho la historia está plagada de grandes ejemplos de aplicaciones no buscadas, piensen en ello la próxima vez que se suban a un avión

(efecto Bernoulli²³), que comprenden hortalizas en el supermercado (producción de amoníaco a través del proceso de Haber-Bosch²⁴). Buscarle el lado aplicado a una investigación de la denominada básica no es complicado, simplemente hay que complementar esa observación que explicamos de forma minuciosa y, una vez conocidas las condiciones experimentales que la originan, ser capaces de recrearla, modificarla y amplificarla en alguno de nuestros procedimientos cotidianos. Esto es aplicable a cualquier tipo de disciplina científica.



Fuerzas implicadas en el vuelo de un avión, representadas a través de una sección transversal del ala. El efecto Bernoulli participa en la generación de la fuerza de sustentación, de tal forma que el diseño combado de las alas hace que el aire circule mucho más deprisa por arriba que por la parte recta inferior. Esta mayor velocidad hace que el aire tenga una presión más baja, de tal forma que la menor presión en la parte superior del ala genera una fuerza bajo la misma que empuja el ala hacia arriba.



El proceso de Haber-Bosch consiste en la reacción de nitrógeno e hidrógeno gaseosos para producir amoníaco a nivel industrial, que al oxidarse forma nitritos y nitratos que son la base de los fertilizantes sintéticos. La importancia de la reacción radica en la dificultad de producir amoníaco a un nivel industrial. La reacción natural es muy lenta, pero en presencia de hierro como catalizador, alta presión y altas temperaturas, se consigue desplazar la reacción química hacia la formación de amoníaco. Se estima que los fertilizantes sintéticos, producidos a partir de 1909, han

²³ <https://blogthinkbig.com/los-principios-que-hacen-volar-a-un-avion>

²⁴ https://es.wikipedia.org/wiki/Proceso_de_Haber

salvado 2.700 millones de vidas, siendo la innovación que más vidas ha salvado en la historia de la humanidad (<https://www.medigo.com/blog/infographics/lifesaving-innovations/>)

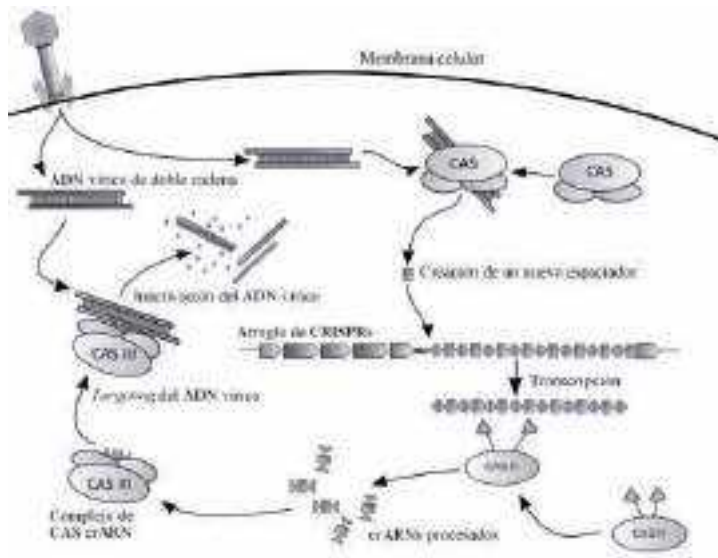
Como vemos es imposible acabar hablando de aplicaciones cuando se habla de ciencia, sea del tipo que sea, por tanto es comprensible no compartir esa distinción, a todas luces artificial, entre ciencia básica y aplicada. De hecho, nuestra vida actual sería inimaginable sin algunas de las aplicaciones surgidas de investigaciones denominadas básicas; pensemos en la electricidad, en los antibióticos, en la secuenciación genética, en las vacunas. Pero tal vez el ejemplo más claro de investigación básica que acaba teniendo una aplicación disruptiva sea la tecnología CRISPR-Cas9, surgida 20 años después de realizadas las primeras observaciones experimentales.

Existe toda otra panoplia de ejemplos que ilustrarían la importancia de asegurar el avance en el conocimiento científico tecnológico y de cómo, si se cuida este proceso, se pueden catalizar cambios importantes para la sociedad, como han sido los antibióticos, el mundo atómico y cuántico, el grafeno, la criptografía o las tecnologías de la información y la comunicación. Pero no, tenemos la inmensa suerte de poder contar con un buen ejemplo en nuestro propio país, y es que la investigación realizada durante años por el grupo de investigación liderado por Francis Mojica han sido los dos primeros peldaños de esa escalera que ha propiciado el desarrollo de la tecnología de edición genética CRISPR-Cas9²⁵.

Esta tecnología, una vez afinada y optimizada, está llamada, probablemente junto a la tecnología del RNA mensajero a revolucionar la medicina personalizada y permitir los tratamientos genéticos dirigidos que permitan curar enfermedades hasta hoy incurables, desde los diferentes tipos de cáncer hasta enfermedades genéticas. Este descubrimiento fue calificado como un cambio de paradigma en el ámbito de las ciencias experimentales, como hacía tiempo que no se producía, pero que como voy a explicar, no ha estado exento de dificultades.

La historia del CRISPR-Cas9 comienza en las salinas de Santa Pola, Alicante, donde habita una arquea, organismo microscópico, denominada *Haloflex mediterranei*. Su adaptación a las altas concentraciones de sal que caracterizan a las salinas hace que este microorganismo se desarrolle en dicho ambiente aparentemente inhóspito. Hablamos de un joven Francis Mojica que comienza a estudiar, en 1989, los mecanismos que hacen que *Haloflex* pueda vivir en ese ambiente tan extremo. ¿Para qué sirve lo que investigas? Le habrán preguntado con toda seguridad muchísimas veces.

²⁵ Eric S. Lander. 2016. The heroes of CRISPR. Cell. Vol. 164, pp. 18-28.



Esquema de funcionamiento del mecanismo CRISPR Cas9, conocido popularmente como el “corta y pega genético”. Reproducido bajo licencia CC BY-SA 4.0

El supervisor de Francis ya había descubierto que, si se modificaba la concentración de sal en el medio de cultivo donde crecía *Haloferax*, se alteraba una especie de código de barras genético consistente en realizar cortes específicos en su genoma usando las llamadas enzimas de restricción, y analizando el tamaño de los fragmentos resultantes. Esa fue la primera misión del profesor Mojica, conocer dónde se alteraban las secuencias de ADN del genoma de *Haloferax*, ya que esa debía ser la causa más probable del cambio de código de barras genético.

Saltamos al año 1992, y el todavía joven Francis está tratando de secuenciar esos segmentos que hacían diferentes los códigos de barras genéticos. De aquella no era como ahora, donde la tecnología de secuenciación está tan avanzada, y con aquellas incipientes tecnologías sólo podían secuenciarse pequeños fragmentos de ADN. Y es con las primeras y pequeñas secuencias donde surgen los primeros datos curiosos, ya que el microbiólogo obtiene secuencias casi idénticas repetidas, palindrómicas, separadas por fragmentos de 36 bases nitrogenadas²⁶. A fin de ilustrar cuán difícil era imaginar una aplicación para tales y por aquel entonces enigmáticas secuencias, transcribo a continuación una parte del artículo en el que el Dr. Mojica describía dicho hallazgo:

«[...] En ambos casos, los sitios *Pst*I estaban localizados en alternancias de purinas-pirimidinas, lo que sugiere estructuras tipo ADN-Z y localizadas en **regiones no codificantes con motivos repetidos y frecuentes**. [...]»

²⁶ Mojica, F.J.M., Juez, G. and Rodriguez-Valera, F. (1993). Transcription at different salinities of *Haloferax mediterranei* sequences adjacent to partially modified *Pst*I sites. *Molecular Microbiology*, 9: 613-621.

Párrafo críptico, como aquellas secuencias, pero en esas ocho palabras resaltadas en negrita está presente, en esencia, uno de los grandes descubrimientos de la historia reciente de la ciencia. No sabía Mojica que con el estudio de dichas secuencias repetidas empezaría su particular vía crucis, falta de financiación, proyectos denegados y multitud de colegas que le aconsejaban que se dedicase a otra cosa, consagrándose a partir de entonces al estudio de esas secuencias repetidas. Eso no hizo desistir al Dr. Mojica y perseveró en su caracterización. Comenzó denominando a dichas secuencias como SRSR (*short regularly spaced repeats*) y posteriormente como CRISPR (*clustered regularly interspaced palindromic repeats*). Llegados al año 2000, Mojica había demostrado la existencia de CRISPR en 20 microorganismos muy diferentes entre sí, y para aquel entonces otros grupos de investigación habían descubierto genes en la proximidad de las CRISPR que probablemente estuvieran relacionados con estas repeticiones.

El momento de revelación le llegó al profesor durante las vacaciones de agosto de 2003. Existe un algoritmo de comparación de secuencias denominado BLAST, que compara una secuencia de ADN (también pueden usarse otras moléculas) con una base de datos que, durante los años, no ha dejado de incrementarse a base de un número también creciente de microorganismos y organismos cuyo genoma ha sido secuenciado. Haciendo uno de estos BLAST, y aprovechando el aire acondicionado de su despacho para huir de los tórridos días mediterráneos, se fijó que una de las secuencias que separaban las secuencias repetidas (conocida como espaciador) era similar a una secuencia de un virus bacteriano, cuyo genoma habría sido incorporado de forma reciente a la base de datos sobre la que opera BLAST. Aún había más, resulta que ese espaciador estaba presente en una bacteria que era justamente resistente a la infección por el virus al que se parecía. Francis repitió el mismo procedimiento con otros 4500 espaciadores que tenía en su base de datos, encontrando 88 similitudes, siendo dos terceras partes de las mismas secuencias de virus bacterianos. Mojica postulaba entonces que las CRISPR podrían ser una especie de sistema inmunitario adaptativo presente en microorganismos. Tardó 18 meses en publicar su hipótesis ante las negativas de los consejos editoriales de las revistas, hasta que finalmente lo consiguió en el año 2005²⁷.

Mojica nunca fue capaz de demostrar su hipótesis, pero despertó el interés en la comunidad científica, y comenzaron a publicarse más y más trabajos tratando de conocer qué mecanismo molecular estaba detrás de tan misteriosas secuencias. Como ven, ni rastro aún de la aplicación. El siguiente paso lo da un grupo de investigación canadiense, que demostró en 2006 que CRISPR era realmente un sistema inmunitario adaptativo presente en microorganismos, utilizado para prevenir infecciones por virus bacterianos. A partir de ahí, la historia es bien conocida, Jennifer Doudna (Universidad de California Berkeley) presenta una patente en 2012 consistente en el uso de uno de esos sistemas CRISPR, denominado CRISPR-Cas9, que había sido modificado para la modificación genética de precisión de bacterias. Meses más tarde el investigador Feng Zhang, del Massachusetts

²⁷ Mojica, F.J., Díez-Villaseñor, C., García-Martínez, J. et al. Intervening Sequences of Regularly Spaced Prokaryotic Repeats Derive from Foreign Genetic Elements. *J Mol Evol* 60, 174–182 (2005).

Institute of Technology, presenta otra patente en la que, en este caso, se pretendía proteger el uso del sistema CRISPR-Cas9 para la modificación genética de precisión en ADN eucariota. Por tanto, un trabajo científico casi anónimo, perseverante, para el que no se buscaba ninguna aplicación, es la base de una tecnología que cambiará radicalmente nuestra forma de entender la medicina o la agricultura. A la vista de este ejemplo, ¿tiene sentido hablar de ciencia básica? ¿no tendría más sentido hablar de aplicación de la ciencia? Por cierto, tanto Jennifer Doudna como Emmanuelle Charpentier fueron galardonadas en 2020 con el Premio Nobel de Química por dicho desarrollo, que hubiese sido imposible sin las investigaciones de Francis Mojica en Santa Pola.

Para finalizar este apartado, me gustaría incluir extractos de entrevistas concedidas por Francis Mojica a diferentes medios de comunicación:

«Me gustaría que se viese mi caso como un ejemplo. Que los políticos no tuvieran la mirada tan obtusa y no exigieran un beneficio inmediato a una inversión, porque eso limita mucho las posibilidades de conseguir cosas importantes» [sic]

«Cuando inviertes en investigación básica no puedes esperar que todo proporcione aplicaciones. Es como la educación: inviertes y no esperas que todos los estudiantes sean Einstein, pero si salen unos pocos...» [sic]

Tras este extraordinario ejemplo de aplicación de una investigación básica, de una observación científica, dejo como colofón a este apartado lo que opinaba D. Santiago Ramón y Cajal acerca de lo que él denominaba estéril debate en la distinción de ciencia básica y ciencia aplicada en sus Tónicos de la Voluntad *«Cultivemos la ciencia por sí misma, sin considerar por el momento las aplicaciones. Éstas llegan siempre, a veces tardan años; a veces, siglos. Poco importa que una verdad científica sea aprovechada por nuestros hijos o por nuestros nietos. Medrada andaría la causa del progreso si Galvani, si Volta, si Faraday, si Hertz, descubridores de los hechos fundamentales de la ciencia de la electricidad, hubieran menospreciado sus hallazgos por carecer entonces de aplicación industrial».*

II.4. La ciencia ante una nueva revolución: la participación de la sociedad.

El libro *“The Structure of Scientific Revolutions”* del filósofo americano Thomas Samuel Kuhn, un libro que te hace pensar desde otro punto de vista si bien, en algunos momentos, es muy difícil estar de acuerdo con el autor. En dicho libro, Kuhn viene a reflejar lo orgullosa que está la comunidad científica de contar con su propia revolución, me refiero a aquella que nos hizo transitar desde una sociedad dominada por el misticismo y las supersticiones, hacia otra donde la ciencia y la razón dominan nuestras estrategias y aproximaciones económicas y sociales. Es obligado nombrar aquí la obra de Nicolás Copérnico titulada *“De revolutionibus orbium coelestium”*, para muchos autores el trabajo que marca el inicio de la actual revolución científica pero que, no en vano, acabó como muchos otros libros en la hoguera. Sin embargo, la ciencia y la razón siguieron su avance y, a partir de Copérnico, fueron las aportaciones de Newton, Galileo, Newton, Bacon, Pasteur, Darwin y tantas otras

personas las que lograron trasladar a la sociedad de la época una sensación de progreso y alejamiento paulatino de una época marcada por los castigos divinos.



Página de "*De revolutionibus orbium coelestium*" donde se muestra una ilustración con el sistema solar copernicano. Al margen, anotaciones de Erasmus Reinhold y Paul Wittich.

Fuente: Erwan Plougonven - Trabajo propio, CC BY-SA 4.0,
<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=50701482>

El proceso mediante el que Kuhn define esta acumulación progresiva de conocimientos científicos es el de "ciencia normal", pero señala también momentos de inflexión en los que se producen cambios de paradigma, a modo de pequeñas revoluciones que cuestionan la vieja ciencia. Es entonces cuando Kuhn defiende que el auténtico avance científico se produce no por el mero hecho de acumular observaciones o datos, sino por su interpretación fuera de la caja que hace verlos de forma diferente, y que conduce a cambios de paradigma. Algo así nos pasa a los microbiólogos a medida que vamos acumulando más y más datos sobre las comunidades microbianas que habitan en nuestro cuerpo: ¿estamos ante un cambio en el concepto y definición de órgano?

La pandemia provocada por la COVID19 ha acelerado toda una revolución socio-científica que ya se había iniciado unos años antes, muy probablemente como fruto a toda esa intensa labor de divulgación y difusión de nuestro ecosistema científico,

así como por la aparición de periodistas especializados en ciencia y de incluso *influencers*. La propia comunidad científica llevaba tiempo tratando de implicar a la sociedad en el proceso de creación de estrategias y proyectos científicos, y aquí llega el cambio de paradigma: del ciudadano consumidor de noticias, talleres y charlas científicas, a la de un protagonista activo en el proceso de creación científica. No deja de tener todo el sentido del mundo: si una parte sustancial de los proyectos científicos se financian con dinero público, parece lógico que la ciudadanía colabore de forma participativa en el proceso de diseño de las estrategias científicas, lo cual redundaría en una mayor eficiencia y transparencia del sistema.

Como digo, el cambio de paradigma y el punto de inflexión está servido, pero también para la comunidad científica, en la que la sociedad pasará de ser su público objetivo, receptor de los procesos de divulgación científica, a una pieza más en el diseño de sus proyectos. Esto mismo aplica a los gestores públicos de la ciencia, para los que es indispensable establecer mecanismos de escucha para que la sociedad pueda participar, como parte de la cuádruple hélice, en los diseños de los planes y en la implementación de la política científica.

Un ejemplo ha sido el diseño de la Estrategia de Especialización Inteligente, una condición favorable en relación con el Objetivo Político “Una Europa más inteligente promoviendo una transformación económica más innovadora e inteligente”. La S3 es el instrumento regional para hacer frente a los grandes retos: transición energética, reto demográfico y paro juvenil- y para avanzar hacia un modelo económico más resiliente haciendo frente a los efectos sanitarios, económicos y sociales de la COVID19.

Con el fin de que la cuádruple hélice estuviese representada en el diseño, se incorporó la participación ciudadana en la identificación de los sectores en los que Asturias debería focalizarse para implementar una estrategia de especialización inteligente. Para ello, en agosto de 2020, se lanzó una encuesta participativa a través del Portal del Gobierno del Principado de Asturias, abierta a toda la sociedad asturiana, para la identificación de proyectos transformadores. Las preguntas de esta encuesta se pactaron y consensuaron con el resto de las consejerías del Gobierno y con los principales agentes sociales (patronal, sindicatos, Universidad etc.) a través del Consejo Asesor de Ciencia Tecnología e Innovación. Esta encuesta se difundió a través de todos los canales del Gobierno y se prolongó durante los meses de agosto, septiembre y la primera semana de octubre de 2020²⁸.

Una sociedad partícipe para y con los procesos de diseño de política científica necesita nuevos sistemas de gobernanza, que integren también las herramientas digitales, pero también el engranaje con el resto de actores de la cuádruple hélice. Del lado gubernamental, el interés de potenciar la participación de la sociedad pasa por consolidar la relevancia y sostenibilidad de las políticas de I+D+i, así como el apoyo y soporte social a las mismas. Quizás la derivada más importante de este

²⁸ Se recibieron un total de 156 propuestas, en su mayoría consorcios público-privados (115 propuestas) que proponían una inversión total de 3644 M€. De todas las propuestas, 61 eran proyectos tecnológicos encuadrados en el rango de TLRs1-8.

cambio de paradigma esté siendo la progresiva implementación de procesos de co-creación, como fueron los vividos durante la pandemia en Asturias que abrieron un escenario muy interesante en el ámbito científico y tecnológico, y que permitieron a la ciudadanía ser protagonista en la búsqueda de soluciones tecnológicas frente a la pandemia.

Un ejemplo fue el respirador fabricado por impresión 3D, o el proyecto del denominado CPAP, un casco no invasivo que sirve para insuflar aire con presión positiva en pacientes que solo necesitan ayuda para llenar sus pulmones. Respecto al primero, se desarrolló un proyecto promovido y realizado por el grupo “Reesistencia Team”, que llegó a ser evaluado por la Agencia Española del Medicamento y Productos Sanitarios. Este y otros dispositivos despertaron el interés de un grupo de ingenieros de la NASA, concretamente del *Goddard Space Flight Center*, poniéndose a disposición de los consorcios.

Con respecto a las pantallas de protección individual en impresión 3D, se desarrollaron diferentes modelos en colaboración con colectivos de “makers”²⁹, que llegaron a ser evaluados y alguno de ellos validados por el Centro Nacional de Medios de Protección, adscrito al Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo, garantizando su uso en el entorno sanitario.

Otro de los proyectos de ciencia ciudadana consistió en un procedimiento para el reciclaje de mascarillas quirúrgicas, proceso que no hizo falta implementar finalmente gracias al repunte de la oferta de mascarillas desechables. Finalmente, también se desarrolló un proceso de fabricación de hidrogel, mediante el que se produjeron 15.000 litros de gel hidroalcohólico, fundamental para la limpieza de manos y superficies. Todos estos proyectos demostraron el alto nivel de colaboración del sistema de investigación e innovación con el tejido productivo, con la sociedad y con la Universidad, a través de voluntarios, cesión de instalaciones y profesionales, donde fue destacable la excelente respuesta de la ciudadanía, personas que a título particular o colectivo ofrecieron ideas, materiales y ayuda.

La co-creación, entendida como la cooperación entre distintos colectivos que persiguen un objetivo y por tanto un beneficio común desde distintos puntos de vista, es sin duda una de las armas más poderosas con las que la ciencia contará durante los próximos años, marcados por el cambio hacia modelos productivos descarbonizados, digitales y hacia procesos inclusivos que no dejen a nadie atrás.

A mayores del ejemplo anteriormente mencionado, tenemos proyectos donde ya se está poniendo en marcha el análisis de los resultados que pueden obtenerse a través de procesos de co-creación. Un ejemplo son los laboratorios vivos o *living labs*, foros pensados para el encuentro de ciudadanía y comunidad científica para el desarrollo

²⁹ Según EDIX, el colectivo maker “está compuesto por personas innovadoras y creativas con un talento especial para la creación de productos y soluciones tecnológicas”. “Estas personas han adaptado la filosofía del DIY (Do it yourself) o hazlo tú mismo al ámbito de la tecnología para desarrollar proyectos de impresión 3D, programas de código abierto, impresoras láser, productos de robótica y muchas otras artesanías” tecnológicas que parten de una premisa básica: aprender haciendo”.

de productos innovadores. Nótese que a través de este tipo de foros no solo se acerca la ciencia y la tecnología a la sociedad, sino que la sociedad traslada a la comunidad científica sus retos, problemas e inquietudes, y muy probablemente una somera idea de cuál podría ser la solución. Este concepto es manejado por la Comisión Europea a través de una extensión de los partenariados público-privados, incluyendo también a las personas (*people*), dando lugar al acrónimo PPPP, comprendiendo tanto el proceso de co-creación como la integración de la sociedad en las propias actividades de redacción, experimentación, seguimiento y evaluación de los proyectos científico-tecnológicos.

Existen proyectos europeos interesantes como el SCAlings (<https://www.scalerproject.eu/>) que busca el desarrollo de marcos normalizados para la instauración y escalado de procesos de co-creación, así como su incorporación a otros proyectos en marcha, o el proyecto ORION (<http://www.orion-openscience.eu/tags/co-creation>), que diseñó un marco para posibilitar la participación de la sociedad en la investigación científica a través de procesos de co-creación basados en ciencia abierta. La co-creación y la ciencia abierta son dos herramientas poderosas para asegurar que los sistemas de gobernanza de la ciencia son los adecuados a cada momento y a cada situación, es decir, están íntimamente relacionadas con el concepto de Investigación e Innovación Responsables (RRI). Quiere esto decir que la participación de la sociedad en la estrategia científica debe redundar en programas, proyectos y políticas sensibles a las necesidades de la sociedad. La responsabilidad radica por tanto en atender al cambio de paradigma e incluir a la sociedad y a la cuádruple hélice en todo el ciclo de vida de la ciencia: diseño de programas, concepción de los proyectos, diseminación de los resultados, y no sería descabellado pensar que, en un futuro, también se arbitrara algún tipo de mecanismo que habilitara decidir qué tipo de proyectos podrían o no ser financiados.

III. Recepción

Apoyándome en la historia, en la utilidad de la ciencia y en la participación cada vez más activa de la sociedad en los procesos de co-creación, podemos afirmar que estamos ante un nuevo cambio de paradigma. La historia y la evidencia nos dicen que las políticas científicas imperantes a principios del s. XX, fueron dando paso a políticas científico-tecnológicas primero y de innovación después, siguiendo el tránsito evolutivo que han seguido nuestra sociedad y nuestro modelo productivo³⁰. En la actual coyuntura postcovid, de transición hacia sistemas de producción digitales y sostenibles, la aproximación integral a las políticas de ciencia e innovación y la participación ciudadana en los diferentes procesos parece un requisito ineludible.

Finalizo ya mi intervención y solo me queda cumplir con mi cometido y con el fin que nos ha reunido a todos aquí, en este edificio noble de la Universidad de Oviedo, cuna del conocimiento y sede de la recién creada Academia Asturiana de Ciencia e Ingeniería, para dar la bienvenida al nuevo Académico D. Mario Díaz, a quien le deseo una fructífera labor al frente de esta institución.

Muchas gracias.

³⁰ Salomon, J.J. (1991): Changing Perspectives of Science Policy: Insights into Innovation Process. Journal of Scientific & Industrial Research, vol. 50 pp. 90-101.

