

INSTITUTO DE ESPAÑA

CIENCIA Y TECNOLOGÍA:

Perspectiva desde las Reales Academias

JUAN ARANA CAÑEDO-ARGÜELLES

JOSÉ LUIS CARRERAS DELGADO

ANA M. CRESPO DE LAS CASAS

JOSÉ LUIS GARCÍA DEL BUSTO ARREGUI

ANA MARÍA GIL LAFUENTE

NURIA OLIVER RAMÍREZ

FIDEL ORTEGA ORTIZ DE APODACA

JOSÉ MANUEL SÁNCHEZ RON

FRANCISCO JAVIER PUERTO SARMIENTO



MADRID, 2024

© Instituto de España
ISBN: 978-84-92901-12-8
Depósito legal: M-11350-2024
Diseño e impresión: Albatros Comunicación, SL

Quedan rigurosamente prohibida, sin la autorización escrita de los titulares del Copyright, bajo las sanciones establecidas en las leyes, la reproducción total o parcial de esta obra por cualquier medio o procedimiento, conocido o por conocer, comprendidas la reprografía, el tratamiento informático y la distribución de ejemplares de ella mediante alquiler o préstamo público.

Obra producida en el ámbito de la subvención concedida al Instituto de España por el Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades.

ÍNDICE

1. ¿Se puede lograr una ciencia positiva de la conciencia? Juan Arana Cañedo-Argüelles	5
2. Teragnosis por radioligandos José Luis Carreras Delgado	19
3. La Real Academia de Ciencias de hoy Ana M. Crespo de Las Casas	25
4. Relaciones de la música con los números y el ordenador José Luis García del Busto Arregui	43
5. La subjetividad en el nuevo pensamiento económico Ana María Gil Lafuente	55
6. Los retos: aprovechar la IA exige conocer sus limitaciones Nuria Oliver Ramírez	63
7. Ciencia y tecnología analítica en terapéutica y desarrollo de medicamentos Fidel Ortega Ortiz de Apodaca	83
8. Ciencia, tecnología, economía y poder: de la máquina de vapor al chip José Manuel Sánchez Ron	95
9. La historia de la ciencia y de la tecnología en España Francisco Javier Puerto Sarmiento	109

JUAN ARANA CAÑEDO-ARGÜELLES

Docente universitario desde 1975. Doctor en Filosofía desde 1978. Académico de número de la Real Academia de Ciencias Morales y Políticas de Madrid desde 2015. Catedrático de Filosofía en la Universidad de Sevilla desde 1986. Docencia impartida en Universidades de Buenos Aires, Bogotá, Ciudad de México, Santiago de Chile, Lima, Montevideo, Río Piedras y Mayagüez (Puerto Rico), Arequipa, Málaga, Granada, Pamplona, Salamanca y Madrid. Becario Humboldt (Münster, Berlín). Profesor invitado en: Münster Universität, Technische Universität Berlin, Mainz Universität, Paris IV-Sorbonne, CSIC, Madrid. Autor de 18 monografías, 6 ediciones, en torno a 230 capítulos de libro y artículos en revistas científicas. Editor responsable de 12 volúmenes colectivos. Fundador-director de tres revistas científicas y dos colecciones editoriales. 6 sexenios reconocidos de investigación. Miembro del comité editorial, comité de redacción o consejo editorial de 12 revistas científicas. Miembro de las juntas directivas de 4 asociaciones científicas. Miembro del comité de ética del CSIC, así como del subcomité de bioética del mismo organismo. Ha recibido el premio internacional de investigación “Razón abierta” en la convocatoria de 2018. Bibliotecario y miembro de la mesa directiva de la Real Academia de Ciencias Morales y Políticas.

¿SE PUEDE LOGRAR UNA CIENCIA POSITIVA DE LA CONCIENCIA?

JUAN ARANA CAÑEDO-ARGÜELLES

Real Academia de Ciencias Morales y Políticas

Hablar sobre neurociencias y mente humana es arriesgarse a decir algo que quedará desfasado en cuanto se apague el eco de lo dicho. Se trata, en efecto, de uno de los campos en que la investigación avanza con mayor rapidez, de modo que, cuando uno hojea un libro escrito sobre el particular veinte o incluso diez años atrás encuentra poco que no deba ser reformulado y puesto al día. Los que deseen alcanzar resultados más duraderos harán bien en elegir problemas menos controvertidos y convulsos. Sin embargo y por otro lado, ¿qué otra cuestión interesa más que ésta? Ἦνωσι τὸ αὐτόν (cónocete a ti mismo) fue el mandato que colocaron los sabios de Grecia en el frontispicio del templo de Delfos, y desde entonces los grandes relatores de nuestra cultura han coincidido en que es el primer imperativo a seguir por un ser dotado de razón. Se supone que la razón es una cualidad de la mente y por tanto averiguar en qué consiste la mente supone conocernos a nosotros mismos y cumplir del modo más perfecto la vieja consigna. Pero también es una tarea harto difícil, de manera que desde la Antigüedad fue encomendada a los que se ocupan de los problemas insolubles, esto es, a los filósofos. Parece que de un tiempo a esta parte ni siquiera los filósofos se atreven con ella, puesto que al poner la expresión «conócete a ti mismo» en *Google*, lo que obtuve fue una lista de portales dedicados a la magia, el ocultismo, la numerología y otras actividades por el estilo.

No obstante, los científicos más osados han acudido al rescate. Es sabido que los hombres de ciencia se dedicaron al principio a cuestiones bastante inofensivas, como dibujar las vueltas de los astros en el firmamento, pero con el tiempo se han ido acercando a problemas más candentes, y en los últimos decenios prácticamente son los únicos que disputan a los portavoces de las religiones la tarea de exponer las verdades últimas. En lo relativo al punto que nos ocupa, la inteligencia artificial y las neurociencias son las disciplinas que con mayor empeño intentan averiguar de una vez por todas cómo somos. ¿Cuál ha sido la reacción de los filósofos ante estas incursiones? Creo que esta pregunta está mal formulada a no ser que precisemos: ¿Cómo han afrontado los filósofos académicos la nueva situación? Deberíamos llamar filósofo a todo aquel que se plantea e intenta responder preguntas que exceden el estrecho campo de una especialidad. En este sentido todos los neurólogos e informáticos que quieren descifrar los últimos misterios de la mente humana *son filósofos*. No serán, si se quiere, filósofos *profesionales*, pero la idea de «filósofo profesional» es casi un oxímoron. Cuando un filósofo se *profesionaliza* su pasión por la verdad sin apellidos se pone en riesgo, y lo más común es que acabe *especializándose*, esto es, convirtiéndose en una suerte de científico.

Yendo al grano, ha habido en los últimos decenios al menos un par de ejemplos relevantes de diálogo entre filósofos y neurocientíficos. En 1977 Karl Popper y John Eccles publicaron conjuntamente el libro *El yo y su cerebro*¹. Popper fue uno de los filósofos más destacados del siglo XX y Eccles un notabilísimo investigador del cerebro, merecedor del Premio Nobel. Había entre ellos importantes diferencias de actitud y posicionamiento teórico. No obstante, consiguieron escribir una obra coherente, porque ambos defendían un *dualismo interaccionista*, esto es, afirmaban que el pensamiento resulta de la conjunción de dos factores, el cerebro y el yo, que intervienen por activa y por pasiva en los procesos mentales.

Veinte años más tarde el filósofo Paul Ricoeur y el neurocientífico Jean-Pierre Changeux confrontaron sus posiciones en *Lo que nos hace pensar: La naturaleza y la regla*². Hay una porción de diferencias entre este diálogo y el anterior. Las posiciones monistas, naturalistas y materialistas desde siempre han sido frecuentes entre los científicos del cerebro, pero hasta el último tercio del siglo XX se podían encontrar sin mucha dificultad figuras relevantes que adoptaban otra clase de posturas, como Penfield, Chauchard o el mismo Eccles. En la actualidad lo más habitual es que se inclinen por el reduccionismo, no dudando en hacer atrevidas totalizaciones que desbordan ampliamente los límites de la investigación positiva. Para ilustrar el hecho mencionaré tan sólo algunos libros que obtuvieron impacto suficiente como para merecer una traducción al español: *El hombre neuronal* del propio Changeux (1983); *La búsqueda científica del alma* de Francis Crick (1990), *El error de Descartes* de Antonio Damasio (1994), *El universo de la conciencia* de Edelman y Tononi (2000), *El cerebro y el mito del yo* de Rodolfo Llinás (2003). Los investigadores de inteligencia artificial no han sido menos audaces, como demuestran incursiones como *El hombre mecánico* de Hans Moravec (1988), o *Cuerpos y máquinas* de Rodney Brooks (2002). Entre los filósofos, las posiciones son tan controvertidas como siempre, aunque sin duda ha crecido la euforia entre los devotos de la naturalización del hombre. Ejemplos representativos de esta tendencia son los libros *Materia y conciencia* de Paul Churchland (1984) o en *La conciencia explicada* de Daniel Dennett (1991). Los que optan por otras alternativas se han vuelto en cambio más cautos y ya no piensan en descalificar el naturalismo sin haber tomado antes buena nota de los resultados de las ciencias positivas.

¿Qué hay tras la innegable ascensión del monismo naturalista? Nadie tiene derecho a dudar de la cantidad y calidad de los descubrimientos efectuados en las últimas décadas. Pero este campo de la investigación también presenta

¹ Karl R. Popper, John C. Eccles, *The Self and his Brain*, Berlin, Springer, 1977. Trad. Española: *El yo y su cerebro*, Barcelona, Labor, 1980.

² Jean-Pierre Changeux, Paul Ricoeur, *Ce qui nous fait penser: La nature et la règle*, Paris, Odile Jacob, 1998. Trad. Española: Jean-Pierre Changeux, Paul Ricoeur, *Lo que nos hace pensar: La naturaleza y la regla*, Barcelona, Península, 1999.

sus sombras, como ha puesto de manifiesto entre otros John Horgan en su libro *La mente por descubrir* (1999). De hecho, se han producido en los últimos cien años demasiadas salidas en falso, anuncios luego desmentidos de que era inminente el hallazgo de la prueba definitiva que naturalizaría sin residuos la mente humana. Con el término «naturalización» aludo a la explicación cabal y completa de un determinado objeto (en este caso la mente) por medio de leyes físico-químicas sustentadas en observaciones y experimentos contrastables. Pues bien, la tantas veces anunciada consumación del programa naturalista no ha tenido lugar, como de mala gana confiesan sus más notorios valedores. Siempre quedan detalles que se resisten, en primer lugar por el astronómico enmarañamiento del sistema nervioso, que desafía cualquier intento de disección. Hay quien achaca este galimatías al número prodigioso de neuronas que integran el sistema nervioso central y al no menos admirable número de conexiones sinápticas que establecen entre sí. Pero lo cierto es que cada neurona en particular resulta ser mucho más que un simple interruptor: forma un pequeño mundo cuyo comportamiento exacto en condiciones dadas sólo puede ser predicho dentro de considerables márgenes de error. Esto es un hecho reconocido por los más firmes partidarios de la interpretación materialista de la mente. Crick, por ejemplo, puntualiza:

«Una neurona, por tanto, resulta tentadoramente sencilla vista desde fuera. Responde a las muchas señales eléctricas que le llegan enviando a su vez una corriente de impulsos eléctricos propios. Pero cuando intentamos descubrir exactamente cómo responde, cómo cambia su respuesta con el tiempo y cómo varía según el estado de otras partes del cerebro, nos vemos abrumados por la complejidad inherente de su comportamiento³.»

Por su parte, Christof Koch comenta:

«Y cada vez hay más datos para afirmar que las células neuronales funcionan no sólo como una red de dispositivos interruptores lineales, que transmiten o aíslan impulsos eléctricos, sino también como entes individuales que trabajan autónoma y adaptativamente. Las neuronas pueden sumar señales, restarlas, multiplicarlas, filtrarlas y promediarlas, entre otras funciones. Las capacidades de procesamiento de las neuronas individuales eclipsan a los elementos de que disponen quienes proyectan circuitos electrónicos⁴.»

Churchland advierte a su vez:

«Inevitablemente las neuronas se comparan con las compuertas lógicas en la UCP de un ordenador digital. Pero las diferencias son tan intrigantes como las similitudes. Una sola compuerta lógica recibe información de no más de dos fuentes diferentes; una neurona recibe información de mucho más de mil. Una compuerta lógica emite salidas a una frecuencia metronómica, 106 hertz, por ejemplo; una neurona varía libremente entre 0 y 102 hertz. La salida de la compuerta lógica está y debe estar temporalmente coordinada con la de todas las demás compuertas; las salidas neuronales no están así coordinadas. La función de una compuerta lógica es la transformación de información binaria (conjuntos de ENCENDIDOS y APAGADOS) en otra información binaria; la función de una neurona, si podemos incluso hablar en singular en este caso, parece más admisiblemente ser la

³ Francis Crick, *La búsqueda científica del alma. Una revolucionaria hipótesis para el siglo XXI*, Madrid, Debate, 1995, p. 128.

⁴ Julie Wakefield, «Perfiles: Christof Koch: Reflexión sobre la consciencia», *Investigación y Ciencia*, septiembre 2001, p. 29.

transformación de conjuntos de *frecuencias* ondulatorias en otras *frecuencias* ondulatorias. Y finalmente, las propiedades funcionales de una compuerta lógica son fijas; las de una neurona son decididamente plásticas, ya que el crecimiento de nuevas conexiones sinápticas y la poda o degeneración de las viejas puede cambiar la función de entrada/salida de la célula. Las ramas de las dendritas pueden tener nuevas espinitas en minutos para efectuar nuevas conexiones sinápticas y estos cambios son inducidos, en parte, por la actividad neuronal previa⁵.»

En estas condiciones es comprensible que a la hora de buscar términos de comparación con las neuronas se haya pensado no tanto en simples relés como en complejas unidades de procesamiento. Hameroff, por ejemplo, declaró: «La mayoría de la gente piensa que el cerebro tiene cuarenta mil millones de interruptores. Pero nosotros pensamos que son cuarenta mil millones de pequeños ordenadores⁶.» ¿Qué significa todo esto? Significa que el proyecto de elaborar una ciencia determinista del cerebro es completamente irrealizable. Si el matemático y astrónomo francés Pierre Simon Laplace levantara de nuevo la cabeza, proclamaría: «Un genio que conociera la posición y velocidad de todas las moléculas que componen el cerebro en un momento dado y tuviera capacidad analítica para agotar las implicaciones de esa información, estaría en condiciones de pronosticar con exactitud cómo va a comportarse a continuación.» Pero hoy nadie le haría caso, ya que la metáfora del reloj no es apropiada para resumir lo que sabemos del cerebro y su comportamiento. Pero, como es natural, existen otras alternativas para defender una teoría materialista de la mente. Los más decididos partidarios de la inteligencia artificial en su versión fuerte creen que, aunque el cerebro no sea exactamente una máquina bien engrasada, sí es más o menos mecánico lo más interesante que hace, y en particular *pensar*. Empleo aquí el vocablo «mecánico» como sinónimo de «algorítmico», es decir, un proceso que se puede reproducir siguiendo un número finito de instrucciones precisas. Para que podamos diseñar artefactos capaces de «pensar», es preciso que el pensar mismo sea algorítmico. A lo sumo sería admisible agregarle algunos elementos de azar indiscriminado, como si intercalásemos pequeñas ruletas de casino a un juego de engranajes perfectamente ajustado. En varios libros ampliamente documentados, el matemático y cosmólogo Roger Penrose ha argumentado contra la reducción de la mente humana a un proceso algorítmico, punto que contradice diametralmente la tesis fundamental de la versión fuerte de la inteligencia artificial.

Voy a intentar, sin embargo, no extraviarme en el laberinto de argumentos y contra argumentos. Hay un hecho indiscutible, y es que la complejidad del funcionamiento del cerebro impide que en un futuro previsible podamos se-

⁵ Paul M. Churchland, *Materia y conciencia. Introducción contemporánea a la filosofía de la mente*, Barcelona, Gedisa, 1999, pp. 192-3.

⁶ John Horgan, *La mente por descubrir. Cómo el cerebro humano se resiste a la replicación, la medicación y la explicación*, Barcelona, Paidós, 2001, p. 333.

guir paso a paso cada uno de sus avatares. Hay una zona de oscuridad que ampara a los que ven en la mente una dimensión libre y espiritual, pero que también alienta a los que creen que precisamente ahí están los mecanismos ocultos que todavía nos impiden explicar la mente sin rebasar el límite de lo material. Así pues, la ignorancia hermana a los adversarios en pugna, puesto que ambos bandos se apresuran a acudir a lo que «todavía no se sabe» para reforzar lo que de un modo inefable pretenden «saber». Esta observación dista de igualar a todos los que no se refugian en un prudente escepticismo. Veremos que tanto los partidarios de como los oponentes a la naturalización de la mente han empleado otros argumentos. Uno de los más usados por los naturalistas es de tipo *historicista*: se basa en la idea de que todo lo que se ha ido descubriendo sobre el cerebro ha desvirtuado uno por uno los reparos de sus oponentes. Un ejemplo representativo de esta estrategia la ofrece Brooks al comentar la progresión de los que crearon máquinas capaces jugar al ajedrez cada vez mejor:

«Con harta precipitación, Dreyfus, un aficionado bastante mediocre al ajedrez, afirmó que ninguna máquina sería capaz de vencerle. Richard Greenblatt del Laboratorio de Inteligencia Artificial del Instituto Tecnológico de Massachusetts le tomó gustoso la palabra y su programa MacHack venció a Dreyfus en 1967 en la primera y única partida. Inconmovible, Dreyfus proclamó que un programa jamás podría derrotar a un buen jugador de ajedrez con categoría nacional. Cuando quedó superado ese jalón, Dreyfus aseguró que un ordenador nunca vencería a un campeón mundial. Como todos sabemos, eso sucedió en 1997 cuando el programa *Deep Blue* de IBM ganó al campeón del mundo Gari Kasparov⁷.»

Desconozco si Dreyfus fue en efecto tan ingenuo como aquí se afirma. No dudo en cambio que muchos han tomado a lo largo de la historia determinadas prestaciones de la mente como reductos inexpugnables que desafiaban cualquier intento de explicación naturalista, siendo con el tiempo desalojados de sus bastiones de grado o por fuerza. Pero lo que a lo sumo cabría sacar en conclusión es que ha habido mucho incompetente entre los defensores de la irreductibilidad del espíritu. No obstante, la historia está igualmente llena de malos argumentos materialistas. No hay mucha gloria en refutar al menos inteligente de los enemigos de la tesis que uno defiende. Lo meritorio es elegir al más sagaz de todos ellos y enfrentarse a él. Para evidenciar que ha habido espiritualistas menos endebles que Dreyfus, basta recordar que el príncipe de todos ellos jamás cayó en tales simplificaciones. Descartes, en efecto, fue un conspicuo dualista y es el blanco favorito de todos los que hoy en día defienden la naturalización de la mente. Sin embargo, dedicó dos libros enteros, el *Tratado del hombre* y *Las pasiones del alma*, a ofrecer explicaciones materiales de múltiples aspectos de la vida anímica. Veamos un ejemplo. Una explicación neurológica del sentimiento de placer recurre hoy en día a la vía que se extiende desde las neuronas productoras de dopamina del área tegmental ventral

⁷ Rodney A Brooks, *Cuerpos y máquinas. De los robots humanos a los hombres robot*, Barcelona, Ediciones B, 2003, pp. 200-201.

(ATV) hasta las células sensibles a la dopamina del *nucleus accumbens*⁸. La explicación que da el filósofo francés del sentimiento de alegría es puramente conjetural, mucho menos específica y ha quedado desfasada después de tres siglos y medio, pero se mueve en el mismo orden de razones que el ahora vigente:

«En la alegría, los nervios que actúan no son tanto los del bazo, el hígado, el estómago o los intestinos como los que hay en todo el resto de cuerpo y particularmente el que está en torno a los orificios del corazón, el cual, al abrir y dilatar estos orificios, permite que la sangre que los otros nervios expulsan de las venas hacia el corazón entre en él y salga del corazón en mayor cantidad que de costumbre. Y como la sangre que entonces entra en el corazón ya ha pasado y vuelto a pasar por él varias veces, habiendo ido de las arterias a las venas, se dilata muy fácilmente y produce espíritus cuyas partes, muy iguales y sutiles, son apropiadas para formar y fortalecer las impresiones del cerebro que proporcionan al alma pensamientos alegres y tranquilos⁹.»

Planteadas así las cosas, ¿qué es lo que Descartes —o cualquier otro oponente no ingenuo del naturalismo psicofísico— pone más allá de ámbito material? El filósofo francés lo ha dicho con suma claridad: «Mediante la palabra pensar entiendo todo aquello que acontece en nosotros de tal forma que nos apercebimos inmediatamente de ello; así pues, no sólo entender, querer, imaginar, sino también sentir es considerado aquí lo mismo que pensar¹⁰.» El desafío, en suma, no consiste en una tarea que pueda ser acometida de modo gradual. Es falso que se exija al materialista (¡qué más quisiera él!) explicar la mente a plazos, primero esto y después aquello, hoy la percepción y mañana la memoria. El reto está más allá del entender, querer, sentir o imaginar; hay que averiguar de una vez por todas cómo surge la conciencia, el puro apercebirse, y de qué forma cabe reducirla al tipo de procesos contemplados por las ciencias físico-químicas. Nadie que merezca ser tenido en cuenta duda del íntimo entremezclamiento de lo psíquico y lo físico. El punto crucial sin embargo radica en el surgimiento de ese mundo interior en que el sujeto, yo o como quiera llamarse, se erige en testigo de lo que ve y de sí mismo. Para asaltar ese primer y último objetivo, el naturalista ha de encontrar su camino, pero sin apelar simplemente a lo que supone que algún día se llegará a saber.

Repasemos el catálogo de recursos con que cuenta para conseguirlo. Los avances en anatomía y fisiología cerebral han sido ciertamente espectaculares: el análisis de los efectos de lesiones en determinadas zonas del sistema nervioso central ha proporcionado numerosos indicios valiosos. La inserción de microelectrodos en lugares estratégicos y algunas experiencias, como las de Sperry y Libet, han conseguido tocar muy de cerca la interfaz entre lo físico y lo psíquico. La tomografía por emisión de positrones o la resonancia magné-

⁸ Véase Eric J. Nestler, «Molecular Basis of Long-term Plasticity Underlying Addiction», en: *Nature Reviews Neuroscience*, vol 2, nº 2, febrero de 2001, pp. 119-128.

⁹ Descartes, *Las pasiones del alma*, Barcelona, Península, 1972, p. 72.

¹⁰ R. Descartes, *Los principios de la filosofía*, ed. de G. Quintás, Madrid. Alianza, 1995, p. 9.

tica funcional destacan entre los métodos de exploración que van permitiendo desvelar los mecanismos cerebrales que se ponen en marcha cuando se ejerce el pensamiento. Es evidente que el progreso no se va a detener aquí, y que durante un periodo de tiempo indeterminado seguirán produciéndose descubrimientos relevantes. Las neurociencias constituyen uno de los frentes más activos del progreso científico, a diferencia de lo que ocurre en otras zonas de la investigación, como la química o la física¹¹. Este es el dato fundamental que alienta el optimismo de los estudiosos del cerebro, optimismo que se objetiva en la apuesta por una interpretación naturalista de la mente. Sin embargo, es posible que se trate de una apuesta mal planteada. Se basa en el prejuicio de que un mayor conocimiento del cerebro por fuerza ha de conducir a la explicación de lo que antes se llamaba «vida del espíritu» en términos exclusivamente físico-químicos. Ya que la física se ha estancado en su progresión hacia el corazón mismo de eso que llamamos «materia», muchos neurólogos le prometen como premio de consolación el desentrañamiento final de lo que llamamos «mente». Acudiendo por un instante al tipo de argumentos historicistas que antes critiqué, advierto que en más de una ocasión una esperanza parecida ha resultado un fiasco. A fines del siglo XIX, sin ir más lejos, casi todos los científicos creían que el adelanto del saber conduciría necesariamente a explicar de modo exhaustivo el funcionamiento del universo por medio de leyes causales deterministas. Muy poco tiempo después se comprobó no obstante que lo que tenía contados sus días era precisamente el determinismo, mientras que la física tenía un largo recorrido por delante orientado en una dirección muy diferente. Vale la pena señalar lo paradójico de la siguiente circunstancia: hoy en día muchos científicos y filósofos opinan que aunque el determinismo ya ha quedado obsoleto en física, no lo está en una ciencia que se ocupa de realidades mucho más sofisticadas que las estudiadas por la física. He aquí, por ejemplo, el testimonio de Daniel Dennett:

«La mayoría de biólogos piensa que en el cerebro los efectos cuánticos se cancelan, que no hay razón para pensar que se explotan de alguna forma. Por supuesto que existen; hay efectos cuánticos en nuestro coche, nuestro reloj y nuestro ordenador. Pero la mayoría de cosas —la mayoría de objetos macroscópicos— son, como si dijéramos, indiferentes a los efectos cuánticos. No los amplifican, no giran alrededor de ellos¹².»

Así pues, la mecánica cuántica sería relevante para electrones y quarks, no para las células piramidales del córtex o los núcleos hipotalámicos. La presunción aquí operante es que podemos seguir haciendo neurofisiología como si la mecánica de Newton mantuviera toda su vigencia. No obstante, y aunque discrepe del naturalismo, simpatizo en parte con la declaración de Dennett, ya que muchos han querido dar a la física más reciente un uso que a mi juicio es incorrecto. Algunos espiritualistas han empleado las indeterminaciones cuánticas

¹¹ Véase, p. ej., Lee Smolin, *Las dudas de la física en el siglo XXI. ¿Es la teoría de cuerdas un callejón sin salida?*, Barcelona, Crítica, 2007.

¹² Declaración de Daniel Dennett en: John Brockman (ed.), *La tercera cultura. Más allá de la revolución científica*, Barcelona, Tusquets, 1996, p. 234.

ticas como una suerte de mecanismo metafísico de inserción del espíritu en la naturaleza, de emergencia de la libertad, etc. En una estela parecida aparecen propuestas de efectos exóticos, como las «acciones autoformativas» de Robert Kane¹³. Y todavía más fantástica es la propuesta de Roger Penrose y Stuart Hameroff según la cual ciertas estructuras neuronales —los microtúbulos— ampliarían los efectos cuánticos permitiendo así dar asiento a la conciencia, entendida como un mecanismo no computable que opera con una física desconocida, pero que podría ser desarrollada como prolongación y perfeccionamiento de la mecánica cuántica:

«Creo que la consciencia es algo global. Por consiguiente, cualquier proceso físico responsable de la consciencia tendría que presentar un carácter esencialmente global. La coherencia cuántica es idónea a este respecto. Para que sea posible semejante coherencia cuántica a gran escala, necesitamos un alto grado de aislamiento; tal como el que podrían suministrar las paredes de los microtúbulos¹⁴.»

La hipótesis de Penrose es demasiado fantástica por una parte y no suficientemente audaz por otra. Descansa en una intuición poderosa: que la física actualmente disponible no es capaz de dar cuenta de la conciencia, aquello que Descartes convirtió en la esencia del pensamiento. Con «física actualmente disponible» me refiero también a la biología molecular o a la electroquímica. El error de Penrose, como el de Kane y el de los devotos del indeterminismo cuántico consiste en convertir la mecánica cuántica o sus hipotéticas prolongaciones en una especie de «física de la conciencia», cuando lo razonable sería más bien aceptar que cualquier física tendrá siempre una incapacidad funcional para dar cuenta de la conciencia. ¿Por qué motivo? Voy a intentar esbozarlo a renglón seguido. La investigación contemporánea ha conseguido parcelar los cometidos de la mente y localizar los recónditos vericuetos por donde la información, en forma de descargas neuronales, es procesada y llevada de aquí para allá. Pero al final todo resulta un tanto caótico y disperso. Surge el llamado «problema del ensamblaje», que el neurólogo de Harvard David Hubel glosa del siguiente modo:

«Esta sorprendente tendencia a que determinados atributos, como la forma, el color y el movimiento, sean gestionados por estructuras separadas en el cerebro suscita de inmediato la cuestión de cómo se ensambla finalmente toda la información, por ejemplo, para percibir una pelota roja que está botando. Obviamente, deben ensamblarse en alguna parte, aunque sea en los nervios motores que están al servicio de la acción de coger. Pero de dónde se ensamblan y cómo, no tengo la menor idea. Este rompecabezas se denomina a veces con el nombre de “problema de ensamblaje”, que, para mí, no es otro que el gran dilema. Un dilema que no sólo quita el sueño a la neurociencia, sino también a la psicología evolutiva, a la ciencia cognitiva, a la inteligencia artificial y para el caso, a todos los campos de investigación que dividen la mente en una colección de “módulos”, “inteligencias”, “instintos” o “dispositivos informáticos” relativamente discretos¹⁵.»

¹³ Véase Daniel Dennett, *La evolución de la libertad*, Barcelona, Paidós, 2004, p. 305.

¹⁴ Roger Penrose, *Lo grande, lo pequeño y la mente humana*, Cambridge, University Press, 1999, p. 106.

¹⁵ Declaración formulada en: John Horgan, *La mente por descubrir*, Barcelona, Paidós, 2001, p. 41.

Hay por supuesto modos perfectamente concebibles de unir elementos dispersos. Los clavos y tornillos no sirven para otra cosa. Que la conciencia ejerce o refleja ciertos procesos de síntesis de la actividad neuronal parece obvio. ¿Consiste entonces en una forma sutil de clavo o tornillo? Dos de las posibles respuestas más recientes a esta pregunta son de Christof Koch y Susan Greenfield¹⁶. Koch, en línea con lo que sugería Crick, defiende una conjetura localista: un conjunto restringido de neuronas estratégicamente situadas llevarían a cabo el trabajo: ellas «cerrarían la mente». Greenfield, en armonía con tesis defendidas por Llinás, cree en un planteamiento más holista: serían neuronas dispersas por amplias regiones las que se reunirían en «asambleas» provisionales por medio de descargas sincronizadas y así darían lugar a la experiencia consciente. Prudentemente, ambos autores limitan el alcance de su pretensión:

«Recuérdese que ni Koch ni yo nos proponemos explicar cómo aparece la conciencia. No estamos tratando de hallar la solución de lo que David Chalmers ha dado en llamar “el problema nuclear”, a saber, la determinación del modo en que fenómenos fisiológicos que acontecen en el cerebro se traducen en lo que nosotros experimentamos como conciencia. Lo que estamos buscando es una correlación, una forma de mostrar de qué modo se corresponden los fenómenos cerebrales y las experiencias subjetivas, sin identificar el paso intermedio y crucial de cómo un fenómeno es causa de una experiencia. Las asambleas neuronales no “crean” conciencia; constituyen, más bien, indicadores de grados de conciencia¹⁷.»

Con esta cláusula de restricción entra dentro de lo posible que alguno de los dos tenga razón. Pero no es posible retirar dicha cláusula, porque los argumentos de Penrose son aquí muy fuertes: cualquier explicación electroquímica convencional de la conciencia sería en principio computable, y ciertos fenómenos asociados a la conciencia no lo son. Otra cosa es que se pueda llegar a formular «otra» física capaz de superar dicho obstáculo. Como campechana-mente observa Dennett —aunque por razones muy diferentes a las que él alega— habría que observar: «Muchacho, si puede hacer algo así, habrá que verlo¹⁸.» Podríamos tardar siglos o milenios en resolver por esta vía el contencioso. No les quiero asustar con el anuncio de que yo vaya a intentarlo. Tan sólo, y como término de mi exposición, voy a enunciar un par de consideraciones que tal vez deban ser tenidas en cuenta. La primera es que los naturalistas se enojan a menudo con sus críticos porque sólo ven en ellos especulaciones vacías, idealizaciones antropocéntricas o prejuicios religiosos. Habría mucho que hablar sobre los prejuicios. Changeux por ejemplo, que dice practicar tan sólo un «materialismo metodológico¹⁹», no ve ningún inconveniente en afirmar

¹⁶ Véase Christof Koch y Susan Greenfield, «¿Cómo surge la conciencia? Dos esclarecidos neurocientíficos contrastan sus teorías sobre la actividad cerebral que subyace bajo la experiencia subjetiva», *Investigación y Ciencia*, Diciembre 2007, pp. 50-57.

¹⁷ Christof Koch y Susan Greenfield, «¿Cómo surge la conciencia?», p. 57.

¹⁸ Declaración de Dennett en: Brockman, *La tercera cultura*, p. 234.

¹⁹ Changeux, Ricoeur, *Lo que nos hace pensar*, p. 156.

al mismo tiempo lo siguiente: «¿Hay un proyecto más apasionante que emprender una reconstrucción de la vida humana desembarazándose de cualquier concepción finalista del mundo y de todo antropocentrismo, al abrigo de la imaginación y la “superstición religiosa”?»²⁰ Modestamente creo que debiéramos evitar echar en cara al prójimo sus prejuicios, ya que nadie está libre de ellos. De hecho suelen darse en proporción directa a los alardes que se hacen de no padecerlos. Lo importante es que, prejuicios y especulaciones aparte, los críticos del naturalismo pueden alegar hechos indiscutibles, como son el testimonio de la introspección psicológica o la experiencia de la autodeterminación moral. Lo más que se ha podido oponer a esto es que, siendo incommunicable, cada cual está encerrado en la experiencia de su mundo privado de representaciones, lo que nos abocaría al solipsismo. Pero hasta el propio Skinner ha pechado con la responsabilidad de dar cuenta de ello²¹, y un naturalista tan convencido como Llinás tiene que consagrar una parte sustancial de su alegato a justificar el aspecto subjetivo de la sensación (los *cualia*) confesando que la inteligencia que hoy por hoy podemos alcanzar de él es limitada²².

El segundo elemento a tener en cuenta tiene que ver con las aportaciones de los filósofos. En realidad filósofos somos todos, sobre todo cuando se hacen generalizaciones tan arriesgadas como las de los neurocientíficos que hemos mencionado. Pero, llevados por su vehemencia, éstos últimos han desatendido algunas consideraciones elementales que resultan aporéticas para sus proyectos de naturalización. Destacaré dos de ellas solamente. La primera tiene que ver con que no se puede «naturalizar» la mente si no empezamos por definirla con exactitud. Los organizadores de la conferencia de Dartmouth en 1956 lo reconocieron taxativamente: «En principio, podemos describir cualquier aspecto del aprendizaje y cualquier otro rasgo de la inteligencia con tanta precisión que podemos hacer una máquina que lo simule²³.» Sin embargo, la mente no es de entrada un concepto, sino una realidad, y al procurar definirla resulta tan escurridiza que de algún modo desborda *cualquier definición dada*, como con toda lucidez ha observado el filósofo Karl Popper:

«Puedo mencionar aquí que creo que, en principio, pueden construirse máquinas capaces de realizar *cualquier tarea especificada que puedan realizar los seres humanos*. El énfasis está aquí en las palabras “cualquier... especificada”: porque puede usarse una especificación, en principio, para construir una máquina. Por esta razón, no estoy preparado para aceptar el desafío del mecanicista, “*¡Especifique con precisión una prueba que sólo pueda pasarla un ser humano y que sea imposible pasarla, en principio, para una máquina!*”. *Si especificamos con precisión las pruebas que hay que realizar para descubrir*

²⁰ Changeux, Ricoeur, *Lo que nos hace pensar*, p. 15.

²¹ «La auto-observación puede ser estudiada, y debe ser incluida en cualquier balance razonablemente completo de la conducta humana.» B.F. Skinner, *Más allá de la libertad y la dignidad*, Barcelona, Fontanella, 1973, p. 236.

²² Véase Rodolfo R. Llinás, *El cerebro y el mito del yo. El papel de las neuronas en el pensamiento y el comportamiento humanos*, Barcelona, Belacqua, 2003, p. 255.

²³ Citado por Daniel Crevier, *Inteligencia artificial*, Madrid, Acento, 1996, p. 19.

si estamos frente a un hombre o a una máquina, tenemos que hacer frente a la posibilidad de que se construya una máquina para esas especificaciones y pase así la prueba especificada. Esto, sin embargo, no significa que, si nos enfrentásemos a una máquina parecida al hombre, tuviésemos la menor dificultad de encontrar infinidad de pruebas que la máquina no fuera capaz de pasar, especialmente si conociéramos su especificación (o incluso si procediésemos simplemente por el método de ensayo y error), aunque pocos seres humanos fallarían dichas pruebas²⁴.»

La segunda y última observación alude al hecho de que «naturalizar» equivale a objetivar de acuerdo con los principios de las ciencias de la naturaleza. Esto supone que aquello que «naturalizo» lo pongo delante de los ojos y demuestro que sólo consiste en un conjunto de representaciones regidas por tales o cuales leyes naturales. Ahora bien: objetivar la mente es transformar en objeto lo que de por sí es sujeto, y por tanto negarlo en cuanto tal. Dicho de un modo menos técnico, no corresponde a la mente aparecer ante nuestros ojos, sino *tras* ellos. La mente que es pensada no puede pensar ella misma. Muchos grandes filósofos han insistido en este punto. Paul Ricoeur no omitió hacerlo en sus charlas con Changeux, sin que éste reparara en la importancia de la objeción:

«No comprendo la frase: “la consciencia se desarrolla en el cerebro”; la consciencia es consciencia de sí (o se ignora, y ése es todo el problema del inconsciente), pero el cerebro será siempre decididamente un objeto de conocimiento, y nunca pertenecerá a la esfera del propio cuerpo. El cerebro no “piensa” en el sentido de un pensamiento que se piensa. En su caso, usted piensa el cerebro²⁵».

De qué manera surge la capacidad de hacerse consciente y por lo tanto de crear ante sí objetos de conocimiento y crear saberes tan admirables como las neurociencias es un enigma. Probablemente lo seguirá siendo siempre, sin que ello suponga poner ningún tipo de cortapisas al avance de aquéllas. Los que quieran reducirla a un objeto natural más son libres de intentarlo, por más que su empeño sólo sea posible porque ellos mismos son sujetos del conocimiento, es decir, aquello que se proponen negar.

²⁴ Karl R. Popper, *El universo abierto. Un argumento en favor del indeterminismo*, Madrid, Tecnos, 1986, p. 92.

²⁵ Changeux, Ricoeur, *Lo que nos hace pensar*, p. 54.

JOSÉ LUIS CARRERAS DELGADO

Licenciatura de Medicina por la Universidad de Zaragoza y Doctorado por la misma con una Tesis sobre “Estudio clínico experimental sobre el valor de la gammagrafía cardiaca en el infarto agudo de miocardio”. Se especializó en Electrorradiología y en Medicina Nuclear en la Universidad de Zaragoza.

Ha sido Catedrático; Director del Departamento de Radiología y Medicina Física y Vicedecano de la Universidad de Córdoba (1984). Desde 1986 es Catedrático de Radiología y Medicina Física de la Universidad Complutense, en la que ha desempeñado los cargos de Director de Departamento de Radiología y Medicina Física y Vicedecano. Es Jefe de Servicio de Medicina Nuclear del Hospital Clínico San Carlos y Presidente de la Comisión Nacional de la Especialidad de Medicina Nuclear. Ha sido Presidente de la Sociedad Española de Medicina Nuclear. Es autor de 98 libros o capítulos de libros, 303 artículos científicos, 545 ponencias y comunicaciones a Congresos e investigador en 43 Proyectos subvencionados. Ha dirigido 37 Tesis Doctorales.

TERAGNOSIS POR RADIOLIGANDOS

JOSÉ LUIS CARRERAS DELGADO

Real Academia Nacional de Medicina de España

Teragnosis es un término reciente que corresponde a un concepto antiguo. Hace referencia a un procedimiento terapéutico que se basa en un procedimiento diagnóstico.

La Medicina Nuclear es una especialidad médica, del Área de la Radiología, que utiliza moléculas marcadas con isótopos radiactivos o radioisótopos en diagnóstico, terapia e investigación. Cuando estas moléculas van dirigidas a fijarse a un blanco molecular se denominan radioligandos.

La Teragnosis en Medicina Nuclear se aplica en oncología. Los blancos están situados en la superficie de las células tumorales y pueden ser de diferentes tipos como receptores hormonales, enzimas de superficie, transportadores, etc. Los ligandos también pueden ser de diferentes tipos como agonistas o antagonistas de receptores, anticuerpos, etc. Se usan en una primera fase radioligandos marcados con radioisótopos de diagnóstico, siendo los más usados en ^{68}Ga y el ^{18}F , emisores de positrones, y el diagnóstico se hace mediante imágenes de tecnología PET-TAC.

Si en dichas imágenes se demuestra captación suficiente del radioligando diagnóstico en el tumor, se puede intentar su tratamiento utilizando el mismo ligando u otro similar, pero marcado en este caso con un radioisótopo de uso terapéutico como el ^{177}Lu emisor de radiación β . Se busca de este modo la destrucción del tumor haciendo llegar la radiación a la misma célula tumoral mediante el radioligando terapéutico.

La Medicina Nuclear ha sido teragnóstica desde sus orígenes. El 31 de marzo del año 1941, el Dr. Saul Hertz utilizó por vez primera el ^{131}I , para el diagnóstico y terapia de hipertiroidismo y cáncer de tiroides. En este caso el radioligando diagnóstico y terapéutico era exactamente el mismo y solo cambiaba la dosis radiactiva que se aplicaba, que era muy superior en la aplicación terapéutica. El 31 de marzo ha sido declarado Día Mundial de la Teragnosis.

El primer frasco con ^{131}I llegó a España el 16 de septiembre de 1949 desde el laboratorio inglés Tracerlab. Fue aplicado por el Dr. Blanco Soler y sus colaboradores en el Servicio de Medicina Interna, Endocrinología e Isótopos Radiactivos del Hospital Central de la Cruz Roja de Madrid.

La siguiente aplicación teragnóstica surgió en 1994 y se dedicó a los tumores neuroendocrinos. Y desde 2021 se viene aplicando la teragnosis en cáncer de próstata.

En el caso de los tumores neuroendocrinos el blanco utilizado lo constituyen los receptores de somatostatina que son expresados por los tumores bien diferenciados G1 y G2. Los radioligandos diagnósticos más utilizados son el Dotatoc y Dotatate marcados con ^{68}Ga , que se unen a los receptores 2 y 5 de la

somatostatina. Para terapia se utiliza el Dotatate-¹⁷⁷Lu. La aprobación de su uso como segunda línea en tumores inoperables se basa en los resultados del Ensayo clínico NETTER-1 en pacientes con tumores neuroendocrinos del intestino medio. Se trataron 116 pacientes con 4 ciclos de Dotatate-¹⁷⁷Lu + 30 mg de Octreotide cada 8 semanas frente a 113 pacientes tratados solamente con 4 ciclos de 60 mg de Octreotide cada 4 semanas. Los resultados tras un seguimiento de 5 años en cuanto a supervivencia global, libre de progresión y libre de eventos fueron muy favorables para el brazo tratado con Dotatate-¹⁷⁷Lu. Están en marcha nuevos ensayos en fases menos avanzadas del tumor y en otros tumores que pueden expresar receptores de somatostatina como los glioblastomas multiformes y los carcinomas microcíticos pulmonares.

En el cáncer de próstata el blanco que utilizamos es el PSMA (Antígeno Prostático Específico de Membrana). Se trata de una enzima de superficie que está internalizándose continuamente. Los radioligandos, derivados del núcleo de la urea, se han denominado igualmente como PSMA pero añadiéndoles un número. El PSMA-11 marcado con ⁶⁸Ga ó con ¹⁸F es el más usado en diagnóstico y el PSMA-617 marcado con ¹⁷⁷Lu el más usado en terapia. Su introducción en terapia se basa en un ensayo clínico pivotal, denominado VI-SION. Se trata de un ensayo clínico internacional, multicéntrico, randomizado y en fase 3. Los pacientes reclutados eran pacientes con cáncer de próstata diseminado, en progresión y resistentes a la castración. En el brazo control se trataron 280 pacientes, que mantuvieron el tratamiento estándar de su centro. En el brazo de investigación se incluyeron 551 pacientes que mantuvieron el mismo tratamiento estándar y además se trataron con 6 ciclos de 7.4 GBq de ¹⁷⁷Lu-PSMA-617. Los resultados fueron muy favorables para este segundo brazo, lo que supuso la aprobación de esta indicación por la FDA el 23 de marzo de 2022, y por la EMA el 9 de Diciembre de 2022. Están en marcha varios nuevos ensayos clínicos en fases menos avanzadas de la enfermedad.

Se están publicando trabajos con nuevos blancos específicos en melanoma y en otros tumores.

Otro blanco que está despertando un gran interés es la FAP (Proteína Activadora de los Fibroblastos) que es sobreexpresada por los CAF (Fibroblastos Asociados al Cáncer). En muchos tumores estos fibroblastos son más abundantes que las propias células tumorales. En realidad, este blanco no está en la propia célula tumoral sino en los fibroblastos acompañantes. Los radioligandos utilizados en diagnóstico son los denominados FAPI (Inhibidores de la Proteína Activadora de los Fibroblastos) que son derivados de la quinoleína y de los que se han descrito numerosas isoformas. Los radioligandos diagnósticos van marcados con ⁶⁸Ga y están dando un magnífico resultado en diagnóstico. Sin embargo, la experiencia en terapia es todavía muy limitada. La Teragnosis con estos radioligandos podría abarcar a múltiples tipos de tumores.

Están apareciendo continuamente publicaciones sobre nuevos blancos y nuevos radioligandos. Muy sugerentes son los blancos GRPR (Receptor del Péptido Liberador de Gastrina) y las Integrinas. En ambos casos son expresados por muchos tumores diferentes, por lo que podrían extender el uso de la Teragnosis.

La Teragnosis cumple los requisitos más estrictos de la medicina moderna y de la salud de vanguardia. Es predictiva pues “sólo tratamos lo que vemos”. Es necesario observar captación en el tumor del radioligando diagnóstico para aplicar el radioligando terapéutico. Es preventiva pues puede aplicarse en fases precoces de la enfermedad oncológica evitando su progresión. Es de precisión pues hace llegar la radiación con efectos terapéuticos a la misma célula tumoral respetando los tejidos circundantes. Y es personalizada por todo lo anterior. La medicina de precisión y personalizada será molecular y genómica.

Según Czermin es necesario ampliar y acondicionar las instalaciones de terapia en los Servicios de Medicina Nuclear. Las instalaciones actuales están diseñadas para el tratamiento de cáncer de tiroides con ^{131}I . Sin embargo para Teragnosis los requisitos de radioprotección son menos exigentes. Se requiere la creación urgente de Hospitales de día para Teragnosis, similares a los Hospitales de Día para quimioterapia oncológica. Dispondrían de varios puestos (sillones o camas) para tratamiento bajo un solo control de enfermería. Además deben tener un sistema de recogida, almacenamiento y eliminación de los residuos radiactivos emitidos por los pacientes en la orina y heces en las primeras horas que siguen a la administración endovenosa del radioligando terapéutico. La duración del ingreso en cada ciclo es de unas 6 horas, lo que permite administrar 1 ciclo a dos pacientes el mismo día en cada puesto de tratamiento.

En el futuro además de la aparición de nuevos blancos y radioligandos, se espera aplicar otros radioisótopos emisores α además de los emisores β y γ , asociaciones con otras terapias y aplicaciones en fases menos avanzadas de la enfermedad oncológica. El gran número de ensayos clínicos en marcha es un exponente del interés que ha despertado el tema de la Teragnosis en el ámbito médico internacional.

El tema ha llegado ya a la política. En la Comisión de Sanidad y Consumo del Senado, en su sesión del jueves 21 de Abril de 2022, a propuesta del Grupo Parlamentario Socialista, se aprobó por unanimidad una moción en la que se insta al Gobierno a la planificación de las terapias con Medicina Nuclear dirigidas con radioligandos (Num. Exp. 681/001471).

La Oficina del Congreso de los Diputados ha solicitado recientemente al Instituto de España una lista de 10 temas científicos de posible relevancia para el Congreso. El Instituto de España a su vez ha solicitado estos temas a las Academias de índole científico que la integran. La Real Academia de Medicina de España ha propuesto 3 temas, uno de los cuales es Teragnosis.

ANA M. CRESPO DE LAS CASAS

Catedrática de Botánica *ad honorem* de la Universidad Complutense de Madrid (UCM) en el Departamento de Farmacología, Farmacognosia y Botánica. *Research Associate* del Field Museum of Chicago (USA) desde 2005. Acharius Medal de la International Association for Lichenology (2012) y Medalla de la Universidad Internacional Menéndez y Pelayo (1993). Académica de Número de la Real Academia de Ciencias, Exactas y Naturales de España (2012) y Secretaria General de la misma desde 2020 hasta la actualidad.

Como bióloga se ha dedicado principalmente a la investigación evolutiva, sistemática y ecológica (Biodetección) y fue pionera en el uso de herramientas moleculares con este objeto. Ha trabajado sobre la relación entre caracteres fenotípicos y genómicos poniendo de manifiesto la alta homoplasia morfológica de los hongos, y sus trabajos fueron referencia en el descubrimiento de la existencia de especies crípticas en líquenes. Ha colaborado en el diseño del *DNA-Barcoding* para identificación de especies biológicas.

Ha dirigido 13 Tesis Doctorales y 32 trabajos TFG. Ha publicado unos 200 artículos científicos, de ellos más de 150 en revistas internacionales de prestigio (por citaciones acumuladas en 2023, h=41 en SCOPUS y h=50 en Google Scholar). Ha colaborado en varios libros científicos y esporádicamente en prensa de amplia difusión nacional sobre política científica y universitaria y sobre temas científicos de actualidad. Ha participado en comités editoriales de revistas científicas relevantes y ha sido *referee* en otras muchas revistas y publicaciones. Ha sido invitada como conferenciante en congresos y seminarios en Europa, Estados Unidos, América del Sur, Japón y Australia. Miembro del *Council* de asociaciones científicas internacionales como IAPT (Botánica) y IAL (Liquenología). Ha enjuiciado y evaluado cv y proyectos para las principales agencias europeas, norteamericanas etc.

Ha participado o dirigido más de 50 proyectos de investigación financiados por entes públicos españoles y extranjeros, de organismos y agencias como los Planes nacionales de I+D, Cabildo de Tenerife, Centro Nacional del Consumo, Ayuntamiento de Madrid, etc.), también de la Unión Europea, National Science Foundation NSF, Encyclopedia of Life (USA) o privados (Fundación BBVA, NEXO, ENDESA, CESP, Espais de Natura Balear).

En 1987-1991, fue Directora General del Gabinete del Secretario de Estado de Universidades e Investigación (Gobierno de España). En 1991-1993, Directora General de Universidades-Enseñanza Superior (Gobierno de España). En 2005-2008, Coordinadora General de la Comisión Nacional [española] Evaluadora de la Actividad Investigadora (CNEAI). En 2014-2020, fue Presidenta de la Sección de Naturales de la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales de España. Desde 2019 es Miembro del Comité Científico Asesor de la Agencia Estatal de Investigación española, desde 2015 y miembro vocal y desde 2021 vicepresidenta del Consejo Social de la Universidad Autónoma de Madrid.

LA REAL ACADEMIA DE CIENCIAS DE HOY

ANA M. CRESPO DE LAS CASAS

Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales de España

Agradezco al Instituto de España su invitación a tomar parte activa en este ciclo; particularmente al presidente, Profesor Benigno Pendás, y al secretario general, Profesor Andrés Ollero, así como al presidente de la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales de España [RAC, Real Academia de Ciencias], Profesor Jesús María Sanz Serna, por su deferencia proponiéndome a mí para hablar en nombre de nuestra corporación.

En la conferencia no me referiré al sentido fundacional que tiene ésta como otras Reales Academias porque hay estudios históricos disponibles que analizan el origen y razones de creación del núcleo inicial de tales Academias *ilustradas*, actualmente reunidas en el Instituto de España. Algunos historiadores (Sánchez Pérez, 1954; Gomis Blanco, 1984; Gomis Blanco et al., 1986; Fernández Santarén, 1997; Aldeguez Carrillo, 2014; *Ibid.*, 2016) y varios académicos de esta corporación (Torroja Miret, 1950a; *Ibid.*, 1950b; *Ibid.*, 1973; Martín Municio, 1992; García Barreno, 1995; García Barreno et al., 1996; Torroja Menéndez, 1995; Sánchez del Río, 2003; García Barreno, 2006 y Díaz Díaz, 2009) se han referido específicamente a la Real Academia que hoy tengo el honor de representar. En esas referencias encontrarán los interesados una información rigurosa y de niveles distintos que será útil a diversos propósitos. Muchos de estos autores, si no todos, consultaron el archivo de la Academia que se conserva en su sede y está completo desde su fundación; además el archivo reúne otros dos, el de la Asociación Española para el Progreso de las Ciencias y el de la Real Academia de Ciencias Naturales de Madrid. Sin embargo, preocupa sobremanera a la RAC la falta de inventario y descripción técnica de este archivo patrimonial para el que se continúa solicitando apoyo, todavía no logrado. Es posible que la historia de la ciencia española de los dos siglos anteriores descubra en sus carpetas y legajos documentos de verdadero interés.

La información ofrecida en este artículo se limita a una presentación de la evolución de la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales de España a través de sus cambios estatutarios para centrar la atención en las directrices para su actualización, seguidas en los estatutos promulgados en diciembre de 2020, que definen la estructura y objetivos que convienen hoy a esta Real Academia.

Como señalan buen número de expertos, las primeras Reales Academias son organismos creados por el poder público ilustrado desde el siglo XVIII, porque, entre otras razones, consideró que necesitaba fundamentos científicos para ejecución de sus políticas y para la toma de decisiones (Peset, Lafuente, 1981; Peset, 2003a; *Ibid.*, 2003b). Parecidas intenciones, aunque no idénticas, que las que movieron en su día a la creación de la Academia Real Mathematica, establecida por Felipe II en 1584, y algunos siglos después, en 1847, por decreto de Isabel II, a la fundación de la Real Academia de Ciencias. En el momento presente las funciones y objetivos de las Academias no son

solo las tareas de asesoramiento al gobierno o a los poderes públicos, aunque también se hacen, ni tampoco es en las Academias donde *se hace ciencia* primordialmente. Para eso están hoy los propios órganos y estructuras gubernamentales que financian y promueven la ciencia en centros y universidades públicos y privados e independientemente la misma iniciativa privada en sus organizaciones.

El nicho científico de la Real Academia de Ciencias

Complementariamente a sus razones de origen la RAC proporciona un nicho adecuado para la crítica y reflexiones prospectivas en materia de ciencia, para colaborar mediante distintas actividades y acuerdos en el fomento de vocaciones científicas investigadoras e innovadoras entre los jóvenes prestando ayuda a la educación secundaria en su enseñanza y trabajo formativo, y particularmente imbuyendo a docentes y discentes en el método científico mismo.

Colabora también la RAC en distintos programas y acciones para generar opinión en la sociedad en torno al papel de la ciencia y sus pautas y para transmitir principios éticos y cultura académica. Por eso participa en campañas con otras academias europeas en la importante tarea de luchar sin tregua contra las noticias falsas y malentendidos sobre conceptos científicos en los que la cultura de redes sociales e imágenes confusas son un frente muy sensible. Y por último la RAC continúa en la muy importante tarea de completar y enriquecer el vocabulario científico en español, tarea que es propia de la institución y que requiere esfuerzo organizativo, competencia técnica y apoyo constante porque es un objetivo difícil y permanente. Por cierto, este programa se ve gravemente afectado cuando los avatares presupuestarios han impuesto restricciones severas, como ha ocurrido en la llamada crisis económica (ver más adelante y en la figura 4).

Idoneidad de la RAC para colaborar en tareas de asesoramiento

Se reúnen en la RAC personas cuyo perfil facilita la configuración de opinión libre e interdisciplinar, lo que se practica en el día a día de la Academia, y que son cualidades esperables por cimentarse en un tipo de académicos con competencia y diversidad de criterios, por ser personas expertas y elegidas, entre las comunidades científicas de distintos campos, exclusivamente por razones de sus méritos profesionales. Ciertamente tales cualidades no están solo en esta y las demás Academias, o corporaciones semejantes, pero es difícil encontrar mejores condiciones para optimizarlas. Por descontado el papel de otras entidades y asociaciones científicas profesionales contribuyen igualmente en sus competencias y ámbitos a producir el enriquecimiento del tejido entre actores de la ciencia y la innovación y la sociedad civil; ese tejido que hace que un país posea en su cultura los criterios, las conexiones y el lenguaje que establecen las mejores posibilidades para conocerse y respetarse y adquirir la mayor confianza mutua.

Tradiciones y renovación; cambios internos y la demanda social

Las Reales Academias están constituidas por investigadores y expertos que normalmente están insertos en sus centros de trabajo, al menos hasta su jubilación. Más que eso, cuando ya su trabajo docente o de dirección ha mermado por razones administrativas ligadas a la edad, muchos de ellos mantienen su liderazgo en programas concretos, y la mayoría, siguen manteniendo contacto y mutua influencia en sus comunidades y entre sus colegas, aunque no estén en activo laboral. Y todos los académicos, seguramente por el mismo hecho de serlo, aunque con distintos grados de implicación, siguen siendo investigadores vocacionales y están atentos a los avances, cambios y problemas que ocurren en la evolución del conocimiento e incluso en la percepción del cambio social.

Así pues, la RAC como otras instituciones comparables, está en un continuo proceso de ósmosis con el resto del mundo científico y con la sociedad. Por eso y por las características de su autoorganización la Academia, en sus relaciones y estructuras, se va acomodando a la realidad sin sobresaltos y los relevos se van sucediendo mal que bien. Pero evidentemente es difícil en una institución relativamente pequeña cuyos miembros tienen un nombramiento vitalicio, encontrar el equilibrio entre renovación y estabilidad. Siempre llega el momento donde surgen desajustes en el elenco mismo de académicos por razones variadas, algunas biológicas o endógenas de otro tipo; pero también aparecen circunstancias externas tanto o más importantes que obligan a plantear cambios de rumbo. Las demandas sociales o novedades científico-técnicas que surgen obligan a las instituciones, a acomodar sus preceptos, hábitos y costumbres para el mejor cumplimiento de sus funciones, las de siempre u otras nuevas.

El proceso formal de renovación

El procedimiento establecido para acomodarse eficientemente a los cambios demandados, en las Academias consiste en adaptar a las nuevas circunstancias su norma regulatoria básica, que son los estatutos. La experiencia muestra que esto se produce, en las Reales Academias españolas, tras períodos bastante largos. Lo cual, aunque pueda tener algún inconveniente, también aporta ventajas como la estabilidad.

Al menos en el caso de la RAC, esta circunstancia hace que los estatutos tengan un sentido esencial, que supone un reto para una comunidad de profesionales que están principalmente unidos por su pasión por la ciencia y por la voluntad de contribuir generosamente al desarrollo de la misma y a su difusión, y no por una situación de compromiso laboral como es lo frecuente en otras instituciones. Ello conduce a que el grado de participación e implicación de los miembros de la academia en la institución sea voluntario. Este aspecto y sobre todo el del carácter vitalicio de la membresía y el que se trata de un número de académicos fijo, hace que sea importante prestar atención a que entre los miembros se mantengan los equilibrios generacionales y de diversi-

dad en las especialidades científicas. También a demandas sociales emergentes como alcanzar el equilibrio de género con una programación viable y responsable.

La autorregulación en las instituciones, y no se olvida que los estatutos son la principal medida regulatoria, no es tarea fácil y requiere consensos. En comunidades pequeñas y muy estables esa tarea de regulación normativa exige generosidad y reflexión y, desde luego, transparencia en la democracia interna. Tal vez no sea ocioso recordar que las Academias están integradas por personas muy acostumbradas a opinar y dirigir, frecuentemente con éxito, sus equipos científicos y no es raro que hayan dirigido importantes instituciones. Una razón no trivial para que las normas regulatorias requieran discusión y consensos sólidos. Lo que lleva tiempo y exige flexibilidad. Un estatuto es sujeto de maduración y ensayos e incluso un resultado de síntesis de procesos de elaboración previos que, sin haber llegado a plasmarse, dejaron huella e ideas en los que finalmente se inician y finalizan con éxito. Al menos así ha ocurrido en el caso de los estatutos más recientes.

Y tal vez por ello y por la experiencia adquirida, los estatutos de la RAC de 2020 se aprobaron casi por unanimidad, con un solo voto en contra y una abstención. Por lo ya dicho en relación con los archivos institucionales, no es fácil ahora conocer los detalles de las cuatro versiones estatutarias previas.

Estatutos previos a 2020

De hecho, la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales de España, denominación consagrada en estos últimos estatutos de 2020, desde su fundación por Isabel II en 1847, ha modificado sus estatutos tan solo tres veces. Los primeros son de diciembre de 1847, y desde entonces ha habido solamente tres renovaciones. La primera en 1921, al cabo de nada menos que 74 años de los fundacionales. Estos estatutos se elaboran después de la llamada ‘Edad de plata’ de la ciencia y la cultura española de la que es representativo Santiago Ramón y Cajal, Premio Nobel en 1906 y electo como académico numerario en 1895, y otros muy relevantes científicos de esa época como Leonardo Torres Quevedo, electo en 1900, Blas Cabrera y Felipe, electo en 1909, como también José Echegaray, electo en 1865, Premio Nobel de Literatura y notable matemático, y otros que pueden consultarse en la web www.rac.es. La siguiente renovación viene después de las devastadoras guerra y posguerra civil (Claret Miranda, 2006; Otero Carvajal, 2006). No es hasta el inicio mismo de la actual democracia, cuando se producen, casi 60 años después, unos nuevos estatutos que se publican en 1979 y que posteriormente se retocan en 2001 y 2005 de manera muy puntual, en 2001 solo para incrementar el número de académicos. La última renovación, la de 2020, se produce después de una consolidada modernización de la sociedad y tras los enormes cambios experimentados por la ciencia española que se sitúa en el puesto 11 entre las naciones del mundo, su crecimiento y estructuración. En la figura 1 se muestra el número de miem-

bro académicos numerarios y correspondientes que se fijaban en los estatutos precedentes (incluyendo el retoque de 2001) y en los de 2020.

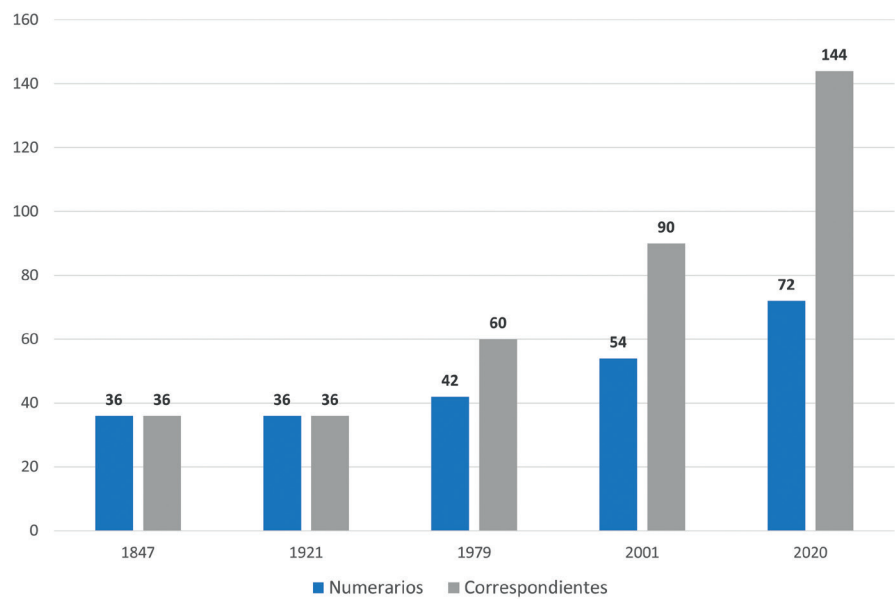


Figura 1. Evolución del número de Académicos en los diferentes estatutos que ha tenido la Real Academia de Ciencias en su historia

Marco estatutario y directrices estratégicas de los Estatutos 2020

Sobre los rasgos principales de los estatutos de la RAC 2020 versa esta última parte de este texto. Como las demás academias europeas occidentales, las españolas hoy son organismos autónomos que, como se ha señalado, se rigen por sus propias normas, que son los respectivos estatutos. En el caso de las Reales Academias del Instituto de España, son aceptados por el Gobierno que realiza la armonización normativa adecuada para que sean aprobados con el rango de real decreto; este procedimiento regulatorio justifica la responsabilidad de conceder una subvención pública que se recoge en las leyes anuales de Presupuestos Generales del Estado. En la figura 2 se reflejan las subvenciones nominativas correspondientes recibidas por las Reales Academias del Instituto de España desde el año 2002 hasta 2023. Además de la subvención pública mencionada, las Reales Academias pueden recibir otras subvenciones o ingresos de origen privado o público y con fines concretos que quedan reflejados en sus presupuestos y también donaciones de fuentes diversas.

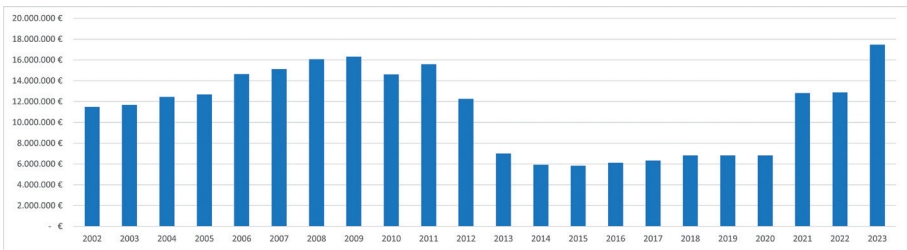


Figura 2. Evolución de las subvenciones públicas nominativas recibidas por el conjunto de Reales Academias del Instituto de España en el periodo 2002-2023.

El número de científicos de las Academias está fijado en sus estatutos, que son elegidos entre profesores e investigadores distinguidos por su competencia, a juicio de sus pares en las áreas científico-técnicas, artísticas o culturales, que sean propias de la Academia de que se trate. En todas las Reales Academias españolas, los nuevos miembros son votados en sesión plenaria, mediante voto secreto. Entre los académicos hay dos categorías, numerarios o de pleno derecho, cuyas medallas están numeradas, y correspondientes, que tienen limitados algunos derechos de membresía no siempre los mismos en las distintas academias; además algunas tienen distintas atribuciones para este tipo de académicos. Esta última categoría y una tercera que es la de supernumerarios, en la RAC cumple un renovado papel en los nuevos estatutos. La mayoría de las Academias nombran también académicos extranjeros entre científicos relevantes en número no tasado, distinción que puede otorgarse, al menos en alguna de ellas, a españoles con residencia permanente en el extranjero. A veces también las academias establecen otras categorías excepcionales como el nombramiento de académicos de honor, y el de instituciones protectoras para fomentar y reconocer el mecenazgo u otras colaboraciones prestadas a la Academia por representantes de la sociedad civil.

Los estatutos, además, establecen las estructuras y preceptos para la gobernanza y funcionamiento institucional. Cabe recalcar que tanto los proyectos de trabajo como la planificación estratégica y ejecución de sus programas de actividades, y como la elección de los académicos, se deciden hoy por las Reales Academias sin injerencia alguna del poder político y se da cuenta pública de todo ello anualmente en una memoria escrita y en la justificación de ejecución del presupuesto.

Figura 3. Fachada de la actual sede de la Real Academia de Ciencias.



En la figura 3 se muestra la fachada del palacio de la calle de Valverde 22 de Madrid donde tiene su sede la RAC.

En los Estatutos de la RAC de 1847 se establecía que el número de académicos numerarios era de 36. En el articulado se desarrollaron objetivos y estructura académica, como epígrafes principales que se modifican en las posteriores renovaciones, pero no radicalmente.

En España, aunque no es algo exclusivo de aquí, con frecuencia, se crean instituciones que muestran el interés político del momento, por prestigio, o por popularidad o por otras causas, pero que luego, esos mismos poderes o sus sucesores, no les dan bastante relevancia como para priorizarlas lo suficiente en los presupuestos públicos, que es sin duda donde las intenciones políticas se concretan.

Desde el inicio de la actual democracia española, el más duro golpe a las subvenciones públicas de los presupuestos del Estado a las Academias, han sido los recortes sufridos consecutivamente desde 2012 a 2019 donde la subvención anual quedó reducida en más de un 70%. En la figura 4 se muestra la evolución de la subvención pública de la RAC correspondiente al período 2002 a 2023. El período de crisis señalado estuvo a punto de hacer desaparecer a esta Academia que se quedó con una reducidísima plantilla de apoyo administrativo y de servicios y se mantuvo voluntaristamente y gracias a los académicos, en particular a quienes lograron liderar una situación prácticamente catastrófica, y a los que pusieron en marcha ideas como la creación de la asociación de amigos, o también a quienes lograron algunos fondos por proyectos privados fundamentalmente. Fue indispensable también la aportación de recursos de algunas entidades privadas externas que ya colaboraban con la RAC. Con todo, la merma de actividad fue obligada, y algunos programas quedaron prácticamente interrumpidos.

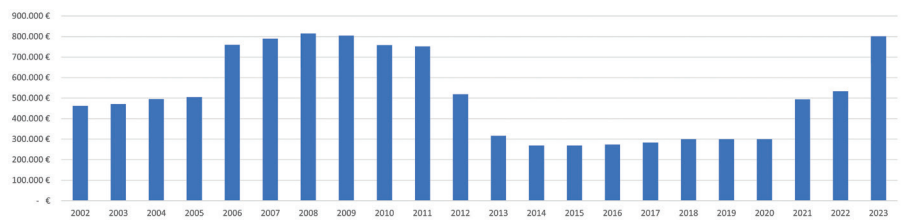


Figura 4. Evolución de la subvención pública nominativa recibida por la Real Academia de Ciencias en el período 2002-2023.

En tales circunstancias se inició en 2018 la renovación de los estatutos que estaban vigentes (1979). Como se ha comentado más atrás, los nuevos estatutos, además de nuevas ideas o combinaciones de ideas, recogían también inquietudes y propuestas que habían sido tratadas en proyectos estatutarios previos que no llegaron a buen término. El proceso de elaboración de los estatutos actuales se ejecuta por una pequeña comisión de tres personas, nom-

bradas por el pleno, pertenecientes a las tres secciones de la academia. Esta comisión somete al pleno de académicos como punto de partida unas líneas estratégicas que fueron discutidas y finalmente votadas y aceptadas; en los meses siguientes, los avances principales que se iban produciendo en el articulado fueron siendo sucesivamente discutidos y también ratificados en pleno.

Como puede verse en la figura 4, el incremento producido en la subvención pública desde el 2021 es prácticamente simultáneo con la última etapa de elaboración del texto estatutario. Esta feliz circunstancia, junto con la cuidada atención por parte de la administración tutelante para preparar el correspondiente real decreto, fue otra circunstancia que también ayudó a culminar el largo proceso que siguen este tipo de normas. Así, en unos meses, que se alargaron coincidiendo con la pandemia provocada por SARS-CoV-2, quedaron publicados en el Boletín Oficial del Estado, en diciembre de 2020; el estatuto va acompañado de un reglamento que la RAC consideró eficaz para disponer complementariamente de una herramienta normativa más ligera y adaptable a los cambios que el pleno considerase útiles en el tiempo futuro.

Directrices estratégicas de los Estatutos RAC 2020

Estas directrices principales son las que se irán ilustrando a continuación. Y la **primera**, como se ha señalado, fue la de **separar estatuto y reglamento**; esto ya se había hecho con éxito en varias de las Reales Academias.

La segunda es incrementar el número de académicos, en todas las categorías nacionales que tienen número fijo. Los académicos numerarios pasaron de 54 a 72 y los académicos correspondientes de 90 a 144. El número de académicos supernumerarios y de académicos extranjeros sigue siendo ilimitado. Este gran aumento del principal patrimonio de la Academia que son sus académicos, se fundamenta en criterios como el crecimiento e impacto experimentado por la comunidad científica española y el de la mayor complejidad de la especialización que se ha producido en el avance del conocimiento en todos los campos científicos y tecnológicos que competen a la institución. También se comparó con otras Academias fuera de nuestras fronteras que, en general, guardan mejor proporción con el tamaño de sus comunidades científicas. Este fuerte incremento se programa en el texto estatutario hasta 2027 y hará que la RAC sea aún más ampliamente la más numerosa de las academias del Instituto de España.

La tercera directriz fue la de **fijar medidas** propiciatorias **de un cierto rejuvenecimiento** estructural de la institución dando entrada a un mayor número de científicos todavía jóvenes, en particular en el grupo de los académicos correspondientes. Pero también el incremento general de plazas está actuando como un buen factor para la entrada de numerarios o numerarias más jóvenes como puede verse en la figura 5.

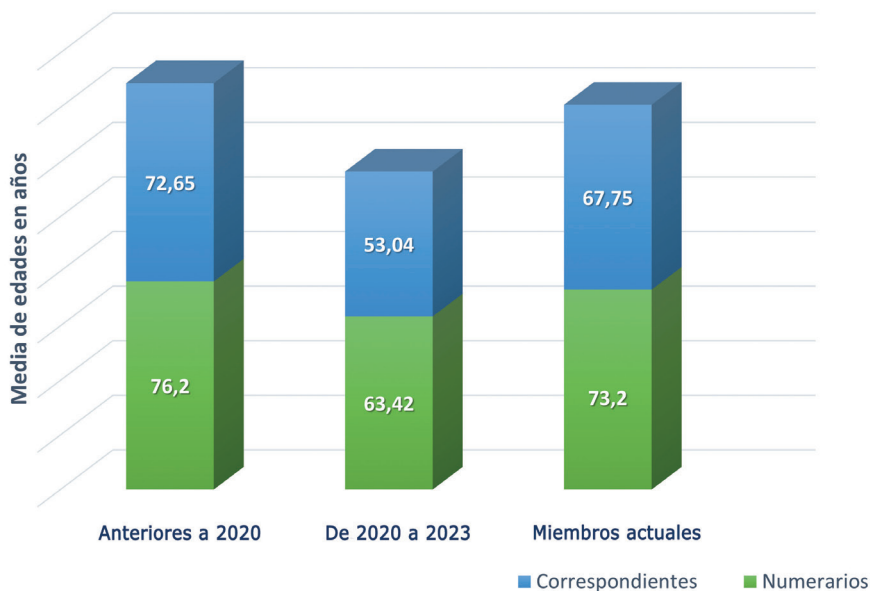


Figura 5. Media de edades de Académicos RAC antes y después de los estatutos de 2020, con significación de la media de los miembros actuales.

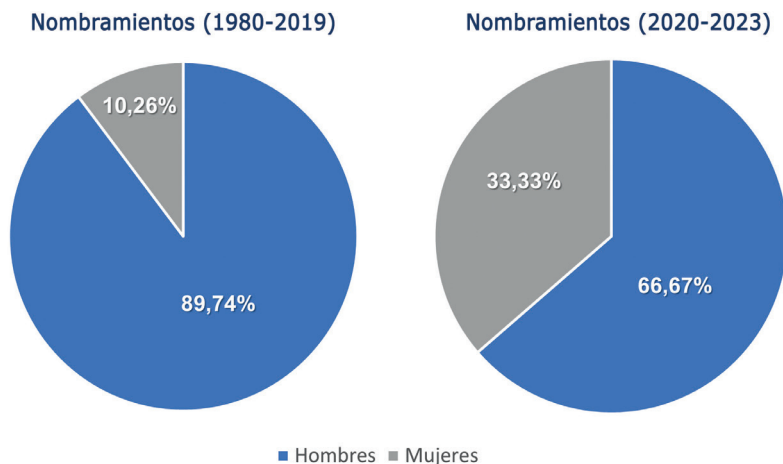
Para instrumentar adecuadamente este objetivo de enriquecer la institución con más savia joven los estatutos obligan a que, como mínimo, en los nombramientos de nuevos académicos correspondientes, la mitad deban tener como máximo 50 años en el momento de ser elegidos.

Esta innovación no es una medida estética en una institución de miembros vitalicios. Ni es en modo alguno una renuncia al peso de la experiencia cuyo valor salvaguarda y respeta primordialmente la Academia. Pero tampoco parece necesario discutir que una institución que tiene que influir en políticas científicas aconsejando, informando y haciendo prospectiva sobre temas en continuo y vertiginoso avance, tiene que garantizar, no solo excelente experiencia y capacidad de solvencia crítica, sino también asegurar que la institución misma es capaz de reconocer prospectivamente *el estado del arte* y acoger a jóvenes científicos ya asentados profesionalmente pero todavía en la *cresta de la ola*, es decir, en su mejor momento de creatividad.

Como puede verse en la figura 5 no solo se incrementaron los jóvenes en la categoría de académicos correspondientes, sino que también ha bajado considerablemente la edad media de los académicos numerarios.

La cuarta y muy importante directriz que aportan los estatutos RAC 2020 es la **de fijar medidas** propiciatorias para conseguir, en un tiempo razonable, el deseado **equilibrio de género** en la composición del elenco de académicos. Así los estatutos fijan que, en relación con los nuevos ingresos de académicos numerarios y correspondientes en cada una de las tres secciones de la Academia (Ciencias Matemáticas, Ciencias Físicas y Químicas y Ciencias Naturales), de cada cinco, al menos dos tienen que ser mujeres.

Figura 6.
Porcentaje
hombres/mujeres
en los
nombramientos de
Académicos
actuales de la RAC
antes y después de
los estatutos de
2020. Se parte de
1980 por producirse
en ese año el
nombramiento del
miembro actual más
antiguo.



En todo tipo de informes demográficos se observa que la incorporación de mujeres al mundo científico se ha ido produciendo de manera que, en el inicio de la carrera científica, prácticamente se alcanza la paridad, con algunas excepciones en las titulaciones internacionalmente denominadas STEM. Sin embargo, por razones que no se pueden discutir aquí, el acceso de las mujeres a los puestos más selectivos se va produciendo despacio, aun habiendo *cantera* de excelente calidad. Como han intuido muchos, feministas o neutros, con el tiempo, aunque no hiciéramos nada para favorecerlo, es muy probable que, en algún momento, se alcanzara la paridad de géneros. Pero tal vez en un tiempo inaceptablemente largo. Por eso la Academia de Ciencias consideró que esto no es suficiente y ha decidido programar su crecimiento para lograr que ese equilibrio se alcance antes.

Como muestra la figura 6, también en este aspecto la institución ha reaccionado cumpliendo con creces la previsión estatutaria. Ya en 2023 el 33% de los nuevos miembros son mujeres.

La quinta directriz que conduce a flexibilizar **la integración de los académicos** numerarios en **supernumerarios** y viceversa incrementa la movilidad y la participación al servicio de la institución. La membresía académica no es solo un honor para quien accede a serlo; es también un compromiso institucional. Compromiso que implica tiempo y cierto esfuerzo. La experiencia indica que a lo largo de la vida de una persona que sea académica numeraria, puede pasar por circunstancias, permanentes o no, que resulten limitantes para su participación en las actividades que comprometen a los académicos numerarios. Entonces el académico puede libremente pasar a ser supernumerario. Para que esto sea factible, la categoría de académico supernumerario se ha reformado para que pueda ser temporal, y permitiendo conservar todos los derechos de actividad y participación en las actividades de la Academia, excepto el de votación y el de ostentar cargos directivos. Además, si posteriormente quiere

recuperar la condición de numerario, tiene preferencia en cuanto se produzca una vacante.

En los tres años de vigencia de los estatutos se ha incrementado el número de supernumerarios y algunos siguen manteniendo actividades de interés para ellos y para la institución.

La séptima directriz que contienen los estatutos del 2020 influye en la **mayor facilidad** para acceder a la participación en la RAC y en sus estrategias científicas **a compatriotas que viven y trabajan fuera de España** produciendo una ciencia excepcional. Para ello se han flexibilizado también los requisitos para ser nombrado académico extranjero. Esta medida ha facilitado acoger a científicos de alto nivel que siendo españoles prestan sus servicios en instituciones extranjeras. Esto permite además de contar con ellos en la RAC también dar a conocer su trabajo a la sociedad española que a veces no los conoce suficientemente.

Hay todavía otras directrices como la obligación de crear un plan **estratégico plurianual** que, analizando fortalezas y debilidades de la institución, marque el rumbo a medio plazo de determinadas actuaciones de la Academia y permita hacer el seguimiento de las mismas. Y otra de igual importancia institucional que consiste en varias medidas que propician el **trabajo de la Academia por comisiones temáticas**; antes esta forma de trabajo quedaba prácticamente restringida a temas de obligación estatutaria; ahora los estatutos facilitan el establecimiento de comisiones *ad hoc* cuando se requiera y en ellas pueden formar parte cualquier categoría de académico en condiciones equivalentes. Así se fomenta un objetivo subyacente que es la **mayor integración de los académicos correspondientes** que se muestra también en el derecho de propuesta de candidatos para las Medallas Echegaray y Ramón y Cajal, y para otros premios y en otras funciones representativas. Con el mismo fin, los estatutos 2020 prevén la **instauración de una conferencia general anual**, donde participan todos los académicos nacionales que lo deseen. Este espacio de diálogo, que viene celebrándose desde 2021 con alta participación y resultados prácticos, persigue optimizar los recursos humanos de la Real Academia propiciando el contacto más amplio posible entre todos. En la Conferencia a lo largo de una jornada, se hacen críticas y propuestas para mejorar el trabajo académico y se debate cada año sobre un tema científico de impacto.

Con estas estrategias, y las que se mantienen por tradición y esencia, como la elaboración continuada del vocabulario científico, y la declaración anual sobre la ciencia en España, o el trabajo en sintonía con las otras academias del ámbito internacional, especialmente europeo, la RAC se ha dotado de herramientas y estructura acorde con sus funciones actuales y espera ser, cada vez más, no solo una institución que piensa en la ciencia y que habla de ciencia para los científicos sino también un nudo para conectar la ciencia con otros espacios

sociales motivados por objetivos similares y por descontado un instrumento para ayudar a la extensión de la cultura científica en España.

Agradecimientos complementarios:

La autora queda muy reconocida a los tres revisores de este trabajo escrito que fueron el Académico de la Real Academia Nacional de Farmacia Antonio I. González Bueno, y Juan Carlos Caro y Rebeca Santamaría ambos técnicos de la plantilla laboral de esta Real Academia.

REFERENCIAS

- ALDEGUER CARRILLO, José. 2014. "Reflexiones sobre la fundación de la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales". *Boletín de la Sociedad Puig Adam de Profesores de Matemáticas*, 97: 58-62.
- ALDEGUER CARRILLO, José. 2016. "Comentario al proceso histórico de la creación de la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales". *Boletín de la Sociedad Puig Adam de Profesores de Matemáticas*, 101: 84-89.
- CLARET MIRANDA, Jaume. 2006. *El atroz desmoche: la destrucción de la universidad española por el franquismo, 1936-1945*. Barcelona: Crítica.
- DÍAZ DÍAZ, Jesús Ildelfonso. 2009. *Observación y cálculo: los comienzos de la Real Academia de Ciencias y sus primeros correspondientes extranjeros* [Discurso inaugural del año académico 2009-2010 leído en la sesión celebrada el día 28 de octubre de 2009]. Madrid: Real Academia de Ciencias, Exactas, Físicas y Naturales.
- FERNÁNDEZ SANTARÉN, Juan. 1997. "El legado de Cajal en la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales". *Revista de la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 91(3/4): 181-202.
- GARCÍA BARRENO, Pedro. 1995. *Los primeros pasos de la Real Academia de Ciencias* [Discurso inaugural del año académico 1995-1996, leído en la sesión celebrada el día 25 de octubre de 1995]. Madrid: Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales.
- GARCÍA BARRENO, Pedro. 2006. "Cien volúmenes de la Revista de la Real Academia de Ciencias". *Revista de la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 100: XIII-XVI.
- GARCÍA-BARRENO, Pedro; Armando DURAN; José María TORROJA; Sixto RÍOS; Ángel MARTÍN-MUNICIO. 1995. *La Real Academia de Ciencias 1582-1995*. Madrid: Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales.
- GOMIS BLANCO, Alberto. 1984. "Hace 150 años se fundó la Real Academia de Ciencias Naturales de Madrid". *Llull*, 7(12): 93-99.
- GOMIS BLANCO, Alberto; Joaquín FERNÁNDEZ PÉREZ; Francisco PELAYO LÓPEZ. 1986. "Noticia histórica de la Real Academia de Ciencias Naturales de Madrid (1834-1847)". En: Javier Echeverría Ezponda, Marisol de Mora Charles (coord.). *Actas del III Congreso de la Sociedad Española de Historia de las Ciencias 2*: 135-152. San Sebastián: Editorial Guipuzcoana.

MARTÍN MUNICIO, Ángel. 1992. "Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. De la botica a la investigación del siglo XXI". *Cuenta y Razón*, 64: 27-34.

[Ministerio de Comercio, Instrucción y Obras Públicas]. 1847. Real decreto creando en Madrid una academia Real de Ciencias exactas, físicas y naturales, que declaro igual en categoría y prerrogativas á las Academias Española, de la Historia y de San Fernando. y se suprime la actual academia de Ciencias naturales de Madrid. (*Gaceta de Madrid*, 28/02/1847).

[Ministerio de Comercio, Instrucción y Obras Públicas]. 1847. Real decreto nombrando individuos de la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales á los individuos que en el mismo se designan (*Gaceta de Madrid*, 08/03/1847).

[Ministerio de Comercio, Instrucción y Obras Públicas]. 1847. Omisión por error involuntario que se cita en la Gaceta del día 8 del corriente, en los nombramientos para la nueva Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales (*Gaceta de Madrid*, 10/03/1847)

[Ministerio de Instrucción Pública y Bellas Artes]. 1921. Real orden aprobando los nuevos Estatutos de la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. (*Gaceta de Madrid*, 21/05/1921)

[Ministerio de Educación Nacional]. 1940. Orden ampliando el apartado tercero del artículo tercero de los Estatutos de la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. (*BOE*, 11/02/1940).

[Ministerio de Educación Nacional]. 1959. Orden de 9 de julio de 1959 por la que se aprueba la modificación de algunos artículos de los Estatutos de la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. (*BOE*, 11/08/1959).

[Ministerio de Educación y Ciencia]. 1979. Real Decreto 490/1979, de 19 de enero, sobre Estatutos de la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. (*BOE*, 17/03/1979).

[Ministerio de Educación y Ciencia]. 2005. Real Decreto 1259/2005, de 21 de octubre, por el que se modifican los Estatutos de la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, aprobados por el Real Decreto 490/1979, de 19 de enero. (*BOE*, 08/11/2005).

[Ministerio de Educación, Cultura y Deporte]. 2001. Real Decreto 1065/2001, de 28 de septiembre, por el que se modifican los Estatutos de la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, aprobados por Real Decreto 490/1979, de 19 de enero (*BOE*, 18/10/2001).

[Ministerio de Ciencia e Innovación]. 2020. Real Decreto 1113/2020, de 15 de diciembre, por el que se aprueban los Estatutos de la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales de España. (BOE, 16/12/2020).

OTERO CARVAJAL, Luis Enrique. 2006. *La destrucción de la ciencia en España: depuración universitaria en el franquismo*. Madrid: Editorial Complutense.

PESET REIG, José Luis. 2003. "Academias y ciencias en la Europa ilustrada". *Península: Revista de Estudios Ibéricos*, 0: 391-400.

PESET REIG, José Luis. 2003. "Las Academias y la Ciencia". En: Enriqueta Vila Vilar, Rogelio Reyes Cano (coord.) *El mundo de las Academias, del ayer al hoy [Actas del congreso internacional celebrado con motivo del CCL aniversario de la fundación de la Real Academia Sevillana de Buenas Letras (1751-2001)]*: 121-132. Sevilla: Universidad de Sevilla.

PESET REIG, José Luis; Antonio LAFUENTE GARCÍA. 1981. "Ciencia e Historia de la Ciencia en la España ilustrada". *Boletín de la Real Academia de la Historia*, 178(2): 267-300.

SÁNCHEZ DEL RÍO, Carlos (ed.) 2003. *Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Relación de académicos desde el año 1847 hasta el 2003*. Madrid: RACEFN.

SÁNCHEZ PÉREZ, José Augusto. 1954. "El Duque de Alba y la Real Academia de Ciencias". *Revista de la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 48: 79-92.

TORROJA MENÉNDEZ, José María. 1995. "Los ingenieros en la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales". En: Pedro García Barreno *et al.*, *La Real Academia de Ciencias 1582-1995*: 385-439. Madrid: Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales.

TORROJA Y MIRET, José María. 1950. "Cómo nació y cómo vive la Real Academia de Ciencias de Madrid". *Memorias de la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales de Madrid* [serie segunda], 11: 47-50.

TORROJA Y MIRET, José María. 1950. "Reseña histórica de la formación de la Academia y de los hechos más importantes con ella relacionados". *Memorias de la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales de Madrid* [serie segunda], 11: 5-21.

TORROJA Y MIRET, José María. 1973. "Jorge Juan y los antecedentes de la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales". *Revista de la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 67: 11-25.

JOSÉ LUIS GARCÍA DEL BUSTO ARREGUI

Ha dedicado casi toda su vida a la música. Nacido en Játiva (Valencia), se trasladó a mediados de los años 60 a Madrid para ingresar en el conservatorio, aunque también comenzó estudios de matemáticas, más para complacer a su padre que por decisión propia.

Finalmente se decantó por su «vocación», la música, y durante más de cuatro décadas se ha dedicado a promover, apoyar y difundir las obras de nuestros compositores, con especial atención a la creación actual, y de sus intérpretes a través de iniciativas como el Centro para la Difusión de la Música Contemporánea. Además de la gestión, también lo ha hecho en sus numerosos libros y la labor de crítico, desarrollada en varios diarios nacionales.

RELACIONES DE LA MÚSICA CON LOS NÚMEROS Y EL ORDENADOR

JOSÉ LUIS GARCÍA DEL BUSTO ARREGUI

Real Academia de Bellas Artes de San Fernando

Entre los siglos VI y V a.d.C., Pitágoras encontró la relación de la longitud de una cuerda con la altura (entonación) del sonido que producía al vibrar. Experimentó con el monocordio y es tenido por el primer músico de la historia.

Desde la antigüedad clásica, la Música estuvo incluida entre las artes liberales, formando parte del Quadrivium (Geometría, Aritmética, Música y Astronomía), esto es, junto a materias del ámbito de las matemáticas.

San Agustín (s. IV), relaciona el sonido y la música con los “números del alma”.

Guido d’Arezzo (s. XI), refiriéndose a Pitágoras, afirma que entendió que la ciencia de la música reside en la proporción y la relación entre los números.

Rameau (s. XVIII): La música es una ciencia físico-matemática: el sonido es su objeto físico y las relaciones existentes entre sonidos diferentes son su objeto matemático.

Xenakis (s. XX): La música ha sido siempre, y sigue siendo, a la vez sonido y número, acústica y matemática, lo que fundamenta su universalidad.

Algunos ejemplos de composiciones basadas en la matemática

Guillaume Dufay (polifonista franco-flamenco del s. XV), en su motete *Nuper rosarum flores*, compuesto para la consagración de la catedral de Florencia (25 de marzo de 1436), catedral coronada por la prodigiosa cúpula de Brunelleschi, planteó la pieza en 4 partes cuyas duraciones guardan la relación 6:4:2:3, que es la misma relación que guardan en la catedral las longitudes de la nave, del transepto, del ábside y la altura de la cúpula.

En su *Musikalische Würfelspiel (Juego de dados musical)*, de 1787, Mozart relaciona la música con las leyes del azar al proponer un “generador de Minuetos”: dispone 176 compases vacíos en el papel pautado y aporta 16 módulos de 11 compases cada uno, cuyo orden se establece lanzando dados...

El pianista y compositor Gustavo Díaz-Jerez, compuso en 2021 un *Metaludio* que se basa en el llamado *número de Belfegor*, uno de los grandes números primos sobre los que investigó Harvey Dubner, y que es:

100000000000006660000000000001

es decir, un número primo formado por el 1, seguido de **13** ceros, luego 666, otros **13** ceros y el 1. Es un palíndromo de 31 cifras (31, al revés, **13**). El 666 central es el *número de la bestia*, que aparece mencionado en el cap. **13** del *Apolipsis* de San Juan.

Dos casos distantes de compositores que buscaron constantemente apoyo en la matemática

Bach

Johann Sebastian Bach (1685-1750) perteneció a una asociación científica y tenía en su biblioteca libros de matemáticas. Simetrías y relaciones matemáticas se dan en muchas composiciones de Bach, entre ellas la *Suite para violonchelo solo núm. 3*, la *Chacona* de la *Partita en Re menor para violín solo*, *El arte de la fuga*, la *Ofrenda musical* que llevó a cabo a partir de un tema proporcionado por el rey Federico II de Prusia (Federico el Grande), etc.



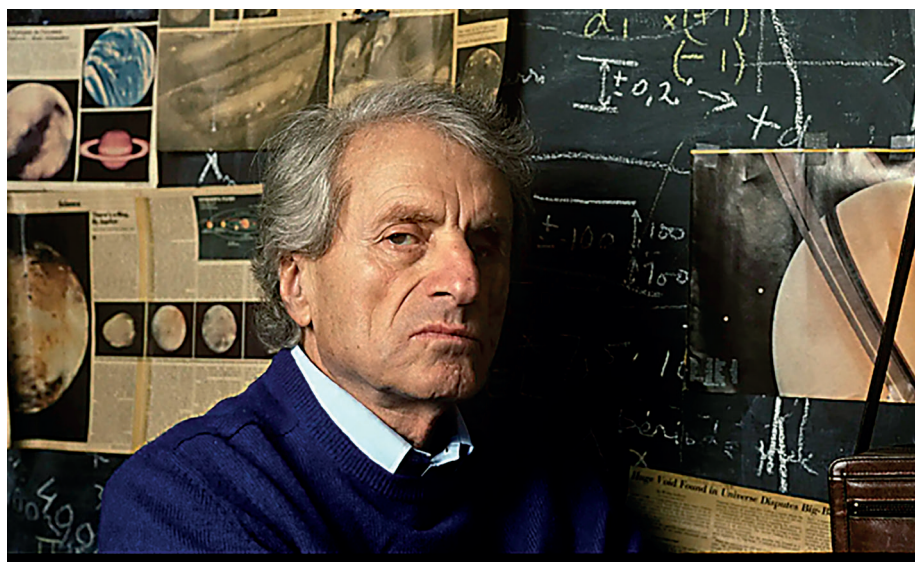
La *Ciaccona*, último movimiento de la *Partita n° 2 en Re menor, BWV. 1004*, es una soberbia construcción sonora, perfectamente simétrica, de espectro parabólico, musicalmente estructurada en forma de tema con variaciones, como es propio de la chacona. Al escueto, solemne y hondo tema, en Re menor, sigue un deslumbrante torrente de 64 variaciones, de la misma duración (4 compases cada una de ellas), que lo explotan expresiva y musicalmente en un curso ascendente hacia el punto culminante, al que se accede justamente en el centro de la composición y que supone la apertura armónica, del Re menor a un radiante Re mayor, momento a partir del cual la tensión se repliega para, en el trazo descendente de la parábola, reencontrarse con el Re menor inicial y llevarnos a un final de emocionante belleza.

Pero Bach juega constantemente con las simetrías: temas en palíndromo (que son idénticos leídos al derecho y al revés), superposición de un motivo y su retrogradación (la imagen especular del motivo original)... y utiliza los procedimientos de inversión, retrogradación e inversión retrogradada en los que Arnold Schönberg basaría su Método de Composición Dodecafónica bien entrado el siglo XX.

Bach alcanzó la cima absoluta de la escritura contrapuntística, y en sus cánones y fugas incide en la entrada escalonada del tema básico o de alguna variante del mismo, en distintas voces, lo que es un anticipo de lo que en nuestro tiempo se ha explicado como procedimiento de la construcción fractal: la repetición de un mismo patrón a diferentes escalas para procurar un crecimiento, una expansión arborescente. Así pues, cabe decir que Bach fue un adelantado practicante de la modernísima corriente de la *música fractal*.

Xenakis

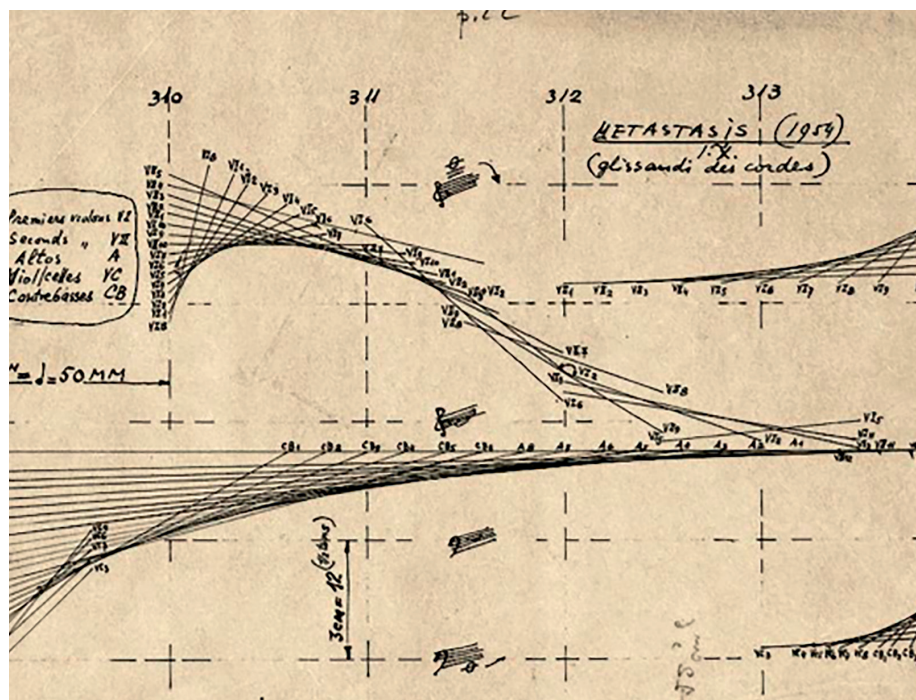
En el pasado 2022 se conmemoró el centenario del nacimiento de Iannis Xenakis (1922-2001), compositor griego (aunque nacido en Rumanía y nacionalizado francés en 1965) que fue una de las voces más definidas, innovadoras y pujantes de las vanguardias musicales que estallaron en Europa tras la segunda guerra mundial. Hombre talentoso y muy comprometido políticamente, su formación fue mucho más técnica -la ingeniería, la matemática, la arquitectura- que musical, pero se sintió atraído fuertemente por el arte de los sonidos, hasta el punto de que acabó por dedicarse fundamentalmente a la composición. Consciente de que su preparación musical era muy parca, Xenakis se acercó en París al más prestigioso maestro europeo del momento, Olivier Messiaen y éste, admirado de su talento y de su instinto musical, le convenció de que se olvidara de profundizar en los estudios tradicionales y diera rienda suelta a sus intuiciones personales y a sus búsquedas de relacionar la creación musical con los procesos matemáticos.



El caso singular
de Iannis Xenakis

Así, Xenakis se apartó del serialismo integral entonces en boga para proponer un manejo del sonido acumulado en planos y volúmenes, en “masas”, “nubes” o “galaxias” sonoras en movimiento, ordenando todo ello mediante la aplicación de modelos matemáticos: la teoría de grupos, el álgebra de Boole y, mayoritariamente, el cálculo de probabilidades y cuantas leyes analizan el azar. Él mismo introdujo el término de “música estocástica” para referirse a esta manera de generar y ordenar el discurso sonoro-musical.

Su primera composición trascendental (*Metástasis*) es simultánea (y guarda mucho parentesco) con su más representativo trabajo arquitectónico, iniciado junto a Le Corbusier: el Pabellón Philips de la Expo celebrada en Bruselas en



Partitura de *Metástasis* (1954)

1958 bajo la icónica imagen del Atomium. Le Corbusier, muy centrado por entonces en un gran proyecto para la India, delegó en Xenakis buena parte del trabajo arquitectural del Pabellón Philips, después de haber colaborado ambos en su ideación y diseño.

La partitura de *Metástasis*, ya desde el aspecto puramente visual de la escritura, no tenía nada de convencional, como tampoco lo tenía, por supuesto, el resultado sonoro: una orquesta formada por cuarenta y seis instrumentos de cuerda con papel distinto cada uno de ellos (!), procuraba no un discurso musical al uso, sino una masa sonora atomizada y compleja, un magma sonoro de densidad y dinámica variables, en el que en vano trataríamos de distinguir línea melódica alguna, ni tensiones armónicas, ni regularidad rítmica. Así pues... ¿era música aquello? Naturalmente que sí, pues eran sonidos ordenados en el tiempo, si bien aquella ordenación no respondía a las pautas que se enseñaban en los conservatorios. La base de la partitura de *Metástasis* no eran procesos rítmicos, melódicos y armónicos, sino procesos matemáticos: por ejemplo, los paraboloides hiperbólicos, las superficies curvas y alabeadas generadas por rectas en movimiento que, son traducidos por el Xenakis arquitecto en las superficies alabeadas del Pabellón Philips y, por el Xenakis compositor, en la abrumadora presencia de *glissandi* en la partitura de *Metástasis*, lo cual, a su vez, justifica el protagonismo, en su orquestación, de los instrumentos de cuerda que no solo pueden realizar a la perfección ese efecto sonoro -los glissandi- sino que, al moverse de una nota inicial a otra

final, lo hacen a la velocidad requerida y pasando por todas las notas intermedias, las reconocibles de la escala temperada y los microtonos que las separan, cosa que procura la presencia de un espectro sonoro continuo y *total*, sensación buscada por Xenakis como superación de los usos propios de la tradición clásico-romántica y de su muy ramificada evolución a lo largo de la primera mitad del siglo XX.

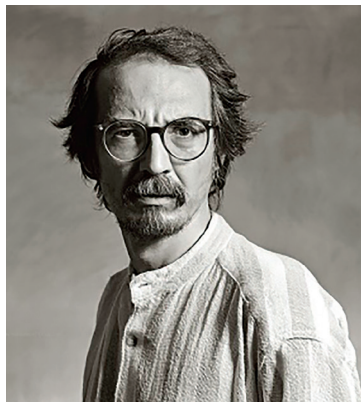
Músicas con apoyo en la matemática ha habido en todas las épocas, pero Iannis Xenakis acaso ha sido su más radical cultivador, además de ser pionero en la utilización de la tecnología y del ordenador (desde sus orígenes) para traducir en sonido estructuras matemáticas o gráficas y para organizar el curso de sus composiciones musicales. Fundó en 1966 el Centre d'Études de Mathématique et Automatique Musicales, dedicado al estudio de aplicaciones informáticas en la música. Allí, Xenakis concibió y desarrolló el sistema UPIC, que permite la realización sonora directa de la notación gráfica que se realiza sobre un ordenador o tablet.

Dos tendencias compositivas muy extendidas en nuestro tiempo, ambas con basamento matemático

Música fractal

Concepto de lo fractal: entes cuyas partes contienen al todo. Repetición de un mismo patrón a diferentes escalas. Autosemejanza. Expansión arborescente...

Francisco
Guerrero

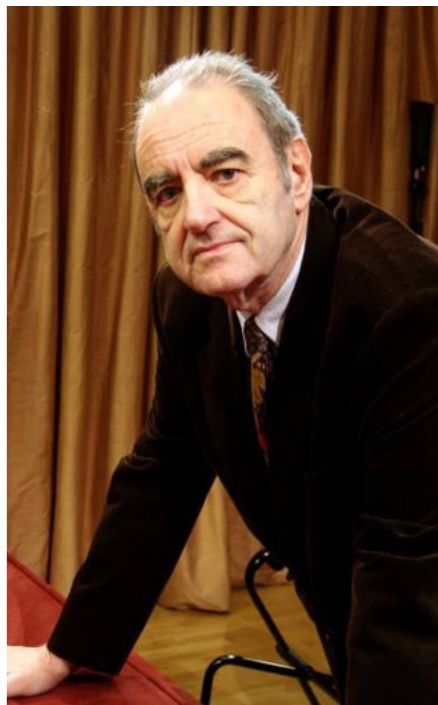


Un compositor pionero y muy influyente en la creación de música fractal fue el español Francisco Guerrero, muy interesado en las matemáticas y su relación con la música. El carácter fractal de sus composiciones se plasmó en grandes obras orquestales como *Sáhara*, *Dunas*, *Oleada*, *Coma Berenices*, o en obras de cámara, como el ciclo de los *Zayin...* *Oleada* fue un encargo del CDMC para su estreno en el Festival de Alicante de 1993, y de ella escribió: “La obra no hace referencia expresa a los acontecimientos físicos que el título parece sugerir (...) Las referencias tienen que ver con los modelos ma-

temáticos que hacen posible la descripción del hecho físico que llamamos ola. Una ola es todas las olas, y todas ellas, con sus múltiples manifestaciones, son la misma. La obra es, por tanto, fractal (...) Se autocontiene en los doce primeros segundos y su posterior desarrollo no es más que una expansión de esa semilla inicial”.

Otra composición española fractal es el *Cuarteto nº 3 (Anatomía fractal de los ángeles)*, de Tomás Marco. En esta obra se dan la mano varios de los argumentos y referencias favoritos de Marco en su madurez, como son la física del caos, el concepto matemático de las fractales y la dialéctica entre lógica y magia, entre realidad y fantasía, entre ciencia y misterio de la que se nutre la música -al menos como él la vive- y sobre la cual construyó Tomás Marco su brillante discurso de ingreso en la Real Academia de Bellas Artes de San Fernando en 1993.

En la elaboración de su *Cuarteto nº 3* el compositor explica que parte de una estructura principal que ha escrito como base y de la cual se derivan otras tres estructuras que nutren a la obra: “Una, desarrollada en los límites agudos de los instrumentos en un movimiento rápido y muy piano, casi en las regiones fronterizas del silencio (...) La segunda es un proceso serial en diversos dúos, al final superpuestos en los cuatro instrumentos (...) Y la tercera surge en las regiones más agudas y lo más fuerte posible, por un proceso de estratificación de la estructura principal”... Pero lo característico de la obra es que aquella estructura principal o “base”, que ha sido una herramienta de trabajo clave para el compositor, no suena en la obra: el compositor ha preferido ocultarla y tratar de que todo su *Cuarteto nº 3* sea como una misteriosa aspiración a ella. En palabras del propio Tomás Marco, esa estructura básica es “como una realidad virtual y referencial, como ese evanescente mundo angélico al que hace mención el título de la obra”.



Tomás Marco
y su *Cuarteto nº 3*

Música espectral

El espectrograma es la representación gráfica de la distribución de energía de una señal, por ejemplo, de una señal acústica, de un sonido. Es una representación tridimensional en la que los ejes se refieren al tiempo, a la frecuencia y a la amplitud o intensidad de la señal. El instrumento que genera espectrogramas es el espectrómetro, pero hoy hay abundante software que realiza esta función.

El *spectralismo* es un estilo musical, una técnica de composición que se originó en París hace aproximadamente 50 años, en la órbita del IRCAM (Instituto de Investigación y Coordinación Acústica-Musical) creado por Pierre Boulez en 1970 y que se instaló en el gran edificio hecho por los arquitectos Renzo Piano y Richard Rogers que es la sede del Centro Pompidou.

Pronto tomaron las riendas del movimiento espectralista compositores como Gérard Grisey y Tristan Murail, quienes contaron con el Ensemble Itineraire como vehículo de experimentación y de interpretación en concierto de sus creaciones. A esos compositores pioneros se fueron sumando muchos otros de diversas procedencias: Dufourt, Hurel, Levinas..., franceses; Benjamin..., inglés; Saariaho, Lindberg..., finlandeses; Vivancos, Fernández Guerra, López López..., españoles).

El principal objetivo de los músicos espectralistas ha sido y es investigar acerca de la naturaleza del *timbre*, cualidad del sonido que depende de qué armónicos resuenan junto a la altura dominante de un sonido dado. En la naturaleza no existen sonidos puros, cualquier sonido está acompañado por frecuencias que resuenan por simpatía con el sonido fundamental, los sonidos *parciales* o *armónicos*, y el hecho de cuáles armónicos resuenen, y cuánto, es lo que determina lo que denominamos el timbre de un sonido. La única manera de aislar estos armónicos y reproducirlos por separado es mediante la síntesis de un sonido en un sintetizador de tonos puros (sinusoides), cosa que procuró la *música electrónica* desde sus comienzos en los años cuarenta del siglo pasado y que hoy hacen programas de ordenadores.

La música espectral da el protagonismo del proceso compositivo a las características objetivas del sonido, atendiendo especialmente a la serie de armónicos que conforma la estructura interna de cualquier sonido. Los compositores espectralistas trasladan a la escritura instrumental las características de los espectros que han analizado en los espectrogramas, esto es, en las representaciones gráficas bidimensionales (tiempo, frecuencia) o tridimensionales (tiempo, frecuencia, intensidad) de los espectros sonoros. De este modo, al escribir su música emulando estos patrones, no están pensando fundamentalmente en la altura (la entonación) de las notas que escriben, sino en la función tímbrica que cada una tiene asignada. Por otra parte, al fundirse esa nota con otras que sonarán simultáneamente, están formando agregaciones verticales

de sonidos, esto es, acordes, lo que remite al concepto musical de la armonía. Por eso, los compositores espectralistas no consideran que trabajen con notas -con alturas- sino con objetos tímbrico-armónicos. El compositor José Manuel López López ha escrito: “Cuando pongo un Do en una partitura no lo pongo pensando en una nota de una determinada escala, sino en un sonido, una frecuencia, un timbre... que es un elemento constitutivo del espectro, del timbre global del que forma parte”... Y: “Gracias a los medios de análisis que nos proporciona la tecnología actual relativa al sonido, hoy podemos analizar el espectro de un trombón, de un violín, de una voz o de cualquier sonido de la naturaleza y, a partir de este análisis, hacer lo que se conoce como *resíntesis instrumental*, es decir, reconstruir ese espectro sonoro a partir de otras fuentes, ya sean sintéticas o acústicas instrumentales”...

La sección áurea y la sucesión de Fibonacci

La sección áurea o razón áurea fue definida en el siglo III antes de Cristo por Euclides (él la denominó “razón extrema y media”): se dice que un segmento se ha cortado en dos segmentos (de longitudes a y b) que guardan la razón áurea cuando el segmento total ($a+b$) es al segmento mayor (a) como el segmento mayor (a) es al segmento menor (b).

Partiendo de esta definición se puede calcular el *número áureo*:

$$\frac{a+b}{a} = \frac{a}{b}$$

Si llamamos φ a la *razón áurea* a/b llegamos a una ecuación de segundo grado:

$$1 + \frac{1}{\varphi} = \varphi$$

$$\varphi + 1 = \varphi^2$$

$$\varphi^2 - 1 - \varphi = 0$$

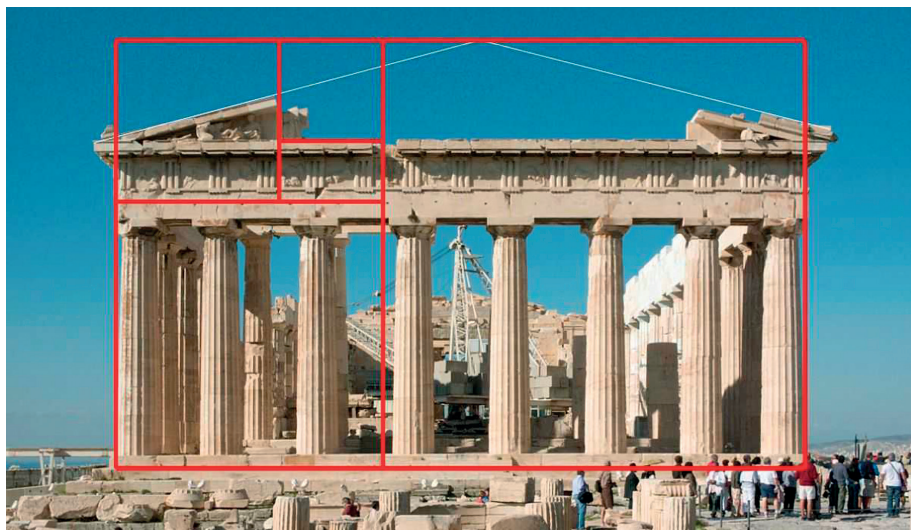
$$\varphi = \frac{1 + \sqrt{5}}{2}$$

$$\varphi = 1,6180339887498...$$

Características del número áureo:

El cuadrado y el inverso de φ tienen las mismas cifras decimales que φ :

$$\varphi^2 = 2,6180339887498... \quad 1/\varphi = 0,6180339887498...$$



El Partenón

A este *número áureo* se le representa mediante la letra griega ϕ (phi) en honor del gran escultor clásico griego Fidias, aunque también la letra ϕ puede relacionarse con Fibonacci (seudónimo de Leonardo de Pisa, sabio matemático del siglo XIII), quien llegó por otra vía al *número áureo*, a partir de la llamada Serie o Secuencia o Sucesión de Fibonacci, sucesión de números naturales que parte de dos 1 y obtiene después cada término por suma de los dos anteriores:

1, 1, 2, 3, 5, 8, 13, 21, 34, 55, 89, 144, 233...

Características de la Sucesión de Fibonacci:

- Tan solo un término de cada tres consecutivos es par.
- Uno de cada cuatro términos consecutivos es múltiplo de 3.
- Uno de cada cinco términos consecutivos es múltiplo de 5.

Cada número de Fibonacci es el promedio del término que se encuentra dos posiciones antes y el término que se encuentra una posición después:

$$a_n = \frac{a_{n-2} + a_{n+1}}{2}$$

Las razones (o cocientes) entre cada número de la serie y el anterior es una nueva sucesión que *tiende a ϕ* , pues sus términos se aproximan cada vez más a ϕ , quedando por debajo y rebasándolo, alternativamente.

1, 1, 2, 3, 5, 8, 13, 21, 34, 55, 89, 144...

$\frac{1}{1}$ $\frac{2}{1}$ $\frac{3}{2}$ $\frac{5}{3}$ $\frac{8}{5}$ $\frac{13}{8}$ $\frac{21}{13}$ $\frac{34}{21}$ $\frac{55}{34}$ $\frac{89}{55}$ $\frac{144}{89}$...

1 2 1,5 1,66 1,6 1,625 1,615 1,619 1,6176 1,6181 1,61797...
 < > < > < > < > < > <

Un notable caso particular de música apoyada en Fibonacci

Béla Bartók basa en la Sucesión de Fibonacci el diseño de muchos de sus temas y de sus acordes, manejando para ello intervalos de segundas menores, segundas mayores, terceras menores, cuartas justas y sextas menores, es decir, intervalos formados por 1, 2, 3, 5 y 8 semitonos, respectivamente, estando estos cinco números contenidos en la Sucesión de Fibonacci. Así sucede en dos de sus obras maestras absolutas: la *Música para cuerda, percusión y celesta* y la *Sonata para dos pianos y percusión*. Por añadidura, los primeros movimientos de estas obras están contruidos en forma de parábola ascendente que, al alcanzar su punto culminante (clímax) sonoro y expresivo inicia el descenso hacia el final, siendo este tramo de descenso más rápido (más corto) que el tramo ascendente y estando ambos tramos (medidos en número de compases) en proporción áurea.

Por otra parte, el primer movimiento se observa que tiene 89 compases y que el clímax (introducido sonora y visualmente por la aparición de los platillos) se produce en el compás 55, estableciendo una distribución del movimiento en 55 y 34 compases que, como hemos apuntado, responde a la sección áurea. Las cuerdas tocan con sordina hasta el compás 34. La sección de exposición dura 21 compases... y todos estos números mencionados (21, 34, 55, 89) forman parte de la secuencia de Fibonacci.

El apoyo en la matemática o, en general, en cualquier proceso científico para ordenar una composición musical, no es sino una herramienta de trabajo para el compositor, una manera de ordenar el flujo de sonidos: las alturas, las duraciones, las intensidades, la rítmica... Pero, el hecho de que una pieza musical presente una factura perfectamente atendida al rigor y a la magia de los números, en modo alguno garantiza la belleza, ni la expresividad, ni la capacidad para conmover de tal música. Del mismo modo, una página musical que cumple a la perfección todas las reglas de la armonía funcional, puede ser completamente falta de interés estético. Las leyes de las Matemáticas, así como las leyes de la Armonía, son meras herramientas de trabajo. Y cualquier herramienta es válida si *sirve* para hacer música que nos *sirva*.

ANA MARÍA GIL LAFUENTE

Catedrática de Universidad en la Universitat de Barcelona. Posición 1617 del mundo en la Research Category de Computer Science. Académica de l'Académie Delphinale de France desde el 2006, miembro de la Ilustre Academia Iberoamericana de Doctores (sede México) desde 2010, académica Numeraria de la Real Academia de Ciencias Económicas y Financieras de España desde 2013 y Directora del Observatorio de Investigación Económico-Financiero bajo la presidencia del Prof. Finn E. Kydland (Premio Nobel de Economía). Active Member of the European Academy of Sciences and Arts (sede en Austria) desde 2014. Outstanding Research Award of the Institute for Business and Finance Research, USA.

LA SUBJETIVIDAD EN EL NUEVO PENSAMIENTO ECONÓMICO

ANA MARÍA GIL LAFUENTE

Real Academia de Ciencias Económicas y Financieras

Excmo Sr Presidente,
Excmos e Ilmos Sres Académicos, Sras y Sres

Permítanme que dedique estas primeras palabras a agradecer y a felicitar al Instituto de España por estas “Conferencias Interacadémicas”, que generan valor en el fértil cruce de conocimientos de las diversas especialidades que aquí nos damos cita: una gran iniciativa que contribuye decididamente a difundir y poner en valor todo el conocimiento que se gesta, día tras día, en cada una de nuestras Reales Academias.

Me tomo también la licencia de robar unos instantes a mi exposición para dedicar un agradecimiento especial a nuestro presidente, Excmo. Dr. Jaime Gil Aluja, quien ha sido artífice y motor de la intensa actividad que la Real Academia de Ciencias Económicas y Financieras ha desarrollado de forma excepcional y brillante durante estos últimos tiempos. Sin su tenacidad, su fuerza y su liderazgo habría sido impensable lograr todo lo alcanzado.

Y no puedo menos que recordar aquí y ahora a quienes nos han precedido legándonos la impronta de su saber y conocimiento.

Nos hallamos hoy en los umbrales de una era digital en la que lo viejo no acaba de morir y lo nuevo no acaba de nacer y en esa disyuntiva podemos aprender; y aprender a aprender, entendiendo el conocimiento como un complejo agregado de información y experiencia.

La integración de la inteligencia artificial en cada uno de nuestros procesos vitales tanto en el ámbito social, educativo y profesional como en los aspectos más íntimos de nuestras vidas familiares, personales y privadas ha hecho posible, como nunca, el acceso a una cantidad ingente de información; un torrente inabarcable para nuestra limitada capacidad de información ubicua: cifras, números, cantidades, datos, hechos, imágenes...

En sincronía con esa catarata de datos que nos inundan, se suceden y fluyen las experiencias vitales, que acaban conformando y modelando nuestro conocimiento, dando así un renovado sentido a nuestra existencia y dimensiones hasta ahora insospechadas a nuestra economía.

Y permítanme invitarles a unirse a nosotros en nuestros esfuerzos por darles dimensión y relevancia dentro de la Escuela de Economía Humanista de Barcelona, que reivindicamos aquí como núcleo del impulso investigador de nuestra ciencia económica.

En esta escuela nos hemos propuesto desentrañar las relaciones de causalidad que este proceso provoca. Porque, excelentísimos académicos, cada decisión, cada acción que emprendemos causa unos efectos que repercuten de

forma directa o indirecta sobre el resto del sistema. Y es más fácil ver la consecuencia inmediata de cualquiera de nuestros actos que la consecuencia de la consecuencia, aunque esta última sea mucho más relevante que la anterior. De ahí que la complejidad lo sea. Y, de ahí también, que el auténtico conocimiento requiera, de entrada, arrestar la emoción y suspender el juicio para que después, ya en frío, la razón nos permita discernir lo evidente de lo importante; lo emocionante de lo relevante; lo efímero de lo trascendente.

Y es esa capacidad la que distingue al científico y la que consigue el progreso y el conocimiento. La emoción del miedo, como dice nuestro académico Daniel Kahneman en su seminal “Pensar deprisa; pensar despacio”, nos hace salir corriendo al ver el león; pero si hubiéramos frenado la emoción narcisista del exceso de confianza con la reflexión razonada de la prudencia, ya no estaríamos al albur de su ataque.

En este camino hacia el conocimiento, desde la noche de los tiempos, nos hemos detenido en algunas consideraciones que entendemos relevantes. Desde Descartes hasta nuestros días, la concepción metodológica de la investigación científica ha experimentado grandes progresos. Los importantes trabajos de Nicol, Marshall, Wallace, Popper, Kuhn, Lakatos, Chalmers, han constituido aportaciones que han ido modificando y completando aspectos importantes de las obras de Marc Ernst, Henry Pointcarré y Pierre Duhem de finales del siglo XIX. Pero el Universo de la ciencia no ha podido conformarse con una herencia que pesaba como una losa sobre las espaldas de los investigadores. Se atisban nuevos horizontes y se gestan grandes descubrimientos si sabemos distinguir, de nuevo, lo inmediato y emocionante de lo relevante.

Un sucinto repaso de la historia ya permite constatar la continua búsqueda de vínculos entre los fenómenos que nos rodean para gestionar nuestro entorno y acertar en la adopción de decisiones. Para ello no basta con la lógica reduccionista binaria del blanco o negro; bueno o malo...Ya decíamos que la realidad es más compleja que nuestra disposición evolutiva a gastar energía en comprenderla.

La realidad no es fácil de interpretar y para deconstruir su complejidad hasta la cadena de decisiones que la explican necesitamos de un instrumento de análisis e interpretación de su gradualidad. Y ese instrumento no solo existe, sino que lleva ya medio siglo de desarrollo: es la lógica fuzzy o lógica difusa.

Como consecuencia del enorme desarrollo y auge de la *lógica fuzzy* se han ido incorporando principios que generalizan y flexibilizan la incorporación de cualesquiera tipos de datos o informaciones, sean objetivas, subjetivas o híbridas. Ello permite disponer de medios de análisis mucho más adaptativos a los rápidos, a veces convulsos, cambios del entorno en el que interactuamos.

Las teorías y modelos nacidos y sustentados en base a los principios y la axiomática de la *Fuzzy Logic* han surgido del legado y la herencia de otros planteamientos que le han precedido, a su vez pioneros en su momento. Cientos de científicos e investigadores de los cinco continentes han ido afinando en una formidable red de cooperación investigadora su precisión durante este medio siglo con mejoras y adaptaciones para que fueran también más efectivos al analizar cambios y situaciones del entorno.

Porque, en definitiva, este es el paradigma de la ciencia, entreabrir puertas para que otros las traspasen, y así es en una sucesión infinita de descubrimientos, avances y logros. La ciencia no lo sería si renunciara a saber, porque su mandato para serlo es responder a las preguntas con otras y así ir ensanchando las fronteras del saber sin resignarse a aceptarlas nunca como definitivas.

Quizá, como nunca ha sucedido, la actividad científica se halla en una encrucijada en la que está en juego el futuro de la humanidad. Por un lado, la concepción *geométrica* del universo; por otro, la concepción *darwiniana*. De una parte, la imposición de unas creencias preestablecidas desde el esplendoroso amanecer newtoniano, en el que se soñaba con reducir el funcionamiento del universo a la predictibilidad de un péndulo simple. La adoración del mito de Laplace: *si dispongo de las reglas de la naturaleza (de carácter determinista) y las leyes del universo, en un momento determinado, reconstruiré el pasado y predeciré el futuro*.

Por otra parte: el vacío de lo desconocido; el rechazo al yugo de la predestinación y la proclamación de la libertad de decisión. Es nuestra respuesta a la llamada de Bertrand Russell, de Jan Lukasiewicz, de Lofti Zadeh, de Konrad Lorenz, de Ilya Prigogine, de Arnold Kaufmann, de Gil-Aluja. La creencia de que existen sistemas inestables con procesos disipativos (obtención de energía residual sin posibilidad de recuperación) que provocan un desorden, la entropía, que lleva a la incertidumbre del funcionamiento del sistema.

En efecto, resulta impensable negar que los sistemas son muy sensibles a las variaciones de las condiciones iniciales o a las existentes en algún instante de su actividad. En otros términos, se concibe que cuando una perturbación excede de un cierto nivel, las desviaciones futuras llevan a un proceso no controlable por el propio sistema, produciéndose el nacimiento de nuevos fenómenos insospechados, los hoy denominados cisnes negros, black swans.

Sólo con este convencimiento es posible vislumbrar como hace cuatro mil millones de años pudo aparecer una célula viva a partir de un simple caldo de aminoácidos. La complejidad de estos sistemas hace inviable su comprensión únicamente mediante leyes deterministas, sustentadas y desarrolladas en base a proyecciones.

Ha hecho falta, y hará falta todavía, una gran dosis de imaginación para romper con las cadenas que nos atan al pasado, colocando en su lugar instrumentos portadores de un gran arsenal descriptivo de situaciones inciertas. Entre los enfoques que hemos aplicado compiten, cohabitan o colaboran la termodinámica, la teoría de catástrofes, la teoría de fractales, la teoría del caos, o la teoría de los subconjuntos borrosos, entre otras.

En el epicentro de la encrucijada neogeometrismo- neodarwinismo se halla una querella que data de más de dos mil años. En efecto, Aristóteles (384-322 a.C.) señalaba que *“las proposiciones, sean positivas o negativas, son por necesidad verdaderas o falsas. Y de las proposiciones que se oponen contradictoriamente debe ser una verdadera y una falsa”*. En esta misma línea se situaba el pensamiento de los estoicos a cuya figura central, Crisipo de Solos (¿281? -208 a.C.), se le atribuye la formulación del llamado *principio del tercio excluso* (una proposición o es verdadera o es falsa).

Tienen que transcurrir veintidós siglos para que Jan Lukasiewicz, señalara que existen proposiciones que no son ni verdaderas ni falsas, sino *indeterminadas*. Esto le permite enunciar su *principio de valencia* (cada proposición tiene un valor de verdad). Se inicia, así, el camino para las llamadas lógicas multivalentes.

Con ocasión del Congreso Internacional S.I.G.E.F. de Buenos Aires en 1996, el profesor Gil Aluja enunció el *principio de la simultaneidad gradual* según el cual *“toda proposición puede ser a la vez verdadera y falsa, a condición de asignar un grado a su verdad y un grado a su falsedad”*. Numerosos grupos de investigación pertenecientes a universidades de los cinco continentes han aceptado el testigo y están trabajando, hoy, en las distintas ramas del árbol de la ciencia. A todos ellos nuestro más sentido homenaje. A ellos y todos cuantos han entreabierto puertas para que otros las traspasen... A aquellos de quienes nunca conoceremos su nombre porque no disponen ni de un mísero rincón en las páginas sinnúmero de la Historia de la Ciencia.

En efecto, al amparo del principio de la simultaneidad gradual, las lógicas multivalentes han permitido el nacimiento y desarrollo de una metodología potente capaz de ser empleada en todos los ámbitos del conocimiento. Y partir de esta metodología, se ha hecho posible la elaboración de instrumentos operativos de gestión, en forma de modelos y algoritmos, que constituyen el enlace entre la matemática pura de la incertidumbre y las distintas áreas del conocimiento.

Si se dispone, en fin, de una adecuada metodología y unos modelos y algoritmos suficientemente flexibles y adaptativos, se ha abierto el camino para la investigación y aplicación en materias pertenecientes a ámbitos tan diversos como pueden ser las ciencias sociales, las ciencias de la salud, las ciencias experimentales o las humanidades. En el ámbito de las ciencias sociales es

donde en mayor medida se ha centrado el núcleo de las investigaciones que desarrollamos, aunque con vínculos en elementos colindantes o relacionados pertenecientes a otras áreas del conocimiento.

Con las metodologías que se van desarrollando se hace posible llegar a cuantificar elementos, y por tanto sus relaciones de causalidad, con mucha más coherencia y representatividad. Así, a los modelos originales se incorporan técnicas de agregación, de ordenación, de parametrización, de hibridación, de ponderación, etc. tanto en el ámbito numérico como no numérico. Ello permite, por una parte, cuantificar fenómenos y variables antes imposibles de valorar. Por otra parte, explicar mejor las interconexiones entre los elementos y permitir una mejor coherencia en la explicación de los resultados.

Otro de los objetivos busca implementar estas metodologías a la realidad de la adopción de decisiones en cualquier ámbito del conocimiento para hacerla más eficiente. Una de las más complejas es en qué medida las variaciones producidas sobre un fenómeno o variable pueden repercutir sobre otros fenómenos o variables pertenecientes a su red de interconexión.

Allí donde haya una decisión que adoptar entre diversas alternativas, será necesario analizar en qué medida la adopción de una determinada decisión va a condicionar y afectar los elementos que conforman su entorno, en qué medida y a través de qué elementos interpuestos. Conocer este cúmulo de informaciones puede resultar muy útil para la adecuación de los recursos.

Este planteamiento determina que todos los eventos, fenómenos y hechos que nos rodean forman parte de algún tipo de sistema o subsistema en el que prácticamente toda actividad queda sometida a algún tipo de incidencia causa-efecto.

A pesar de la existencia de un gran número de herramientas que permiten valorar este tipo de conexiones entre elementos, siempre surge la posibilidad de dejar de considerar algunas relaciones de causalidad que no siempre resultan explícitas y, normalmente, no son percibidas directamente. Es habitual la existencia de relaciones de incidencia que quedan ocultas por tratarse de efectos sobre otros efectos, o causas sobre otras causas, al concurrir en ellas una acumulación de elementos intermedios que las provocan. Para poder cuantificar la existencia de las conexiones entre elementos es preciso apoyarse en herramientas para procesar todas las informaciones: de carácter objetivo, subjetivo o cualquier otra forma de valor, y para poder así contrastar los resultados con los obtenidos del entorno y aflorar las relaciones de causalidad directas e indirectas entre ellas.

El concepto de incidencia se puede asociar a la idea de función y se encuentra presente en todas las acciones de los seres vivos. Precisamente, en todos los

procesos de naturaleza secuencial, donde las incidencias se transmiten de forma encadenada, resulta habitual la omisión de alguna etapa o conexión. Cada olvido tiene como consecuencia efectos secundarios que van repercutiendo en toda la red de relaciones de incidencia en una especie de proceso combinatorio acumulativo.

La incidencia es un concepto eminentemente subjetivo y normalmente difícil de medir; pero su análisis permite mejorar la acción razonada y la toma de decisiones.

No quisiera finalizar estas palabras sin reiterar mi agradecimiento a quienes han dedicado su tiempo, sus ilusiones y su esfuerzo a la ciencia y al conocimiento sin más ambición ni recompensa que la íntima satisfacción del deber cumplido. Gracias por su labor solitaria y a menudo incomprendida cuyo único aliciente es contribuir a la anónima, pero poderosa, cadena del saber humano generación tras generación de científicos.

Gracias por regalarnos su sabiduría, gracias por regalarnos una vida entregada a la prosperidad compartida de nuestros descendientes.

NURIA OLIVER RAMÍREZ

Ingeniera de comunicaciones en 1994 por la Universidad Politécnica de Madrid con el mejor expediente a nivel nacional. Se doctoró en el Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT), en el área de inteligencia perceptual y entró a formar parte del equipo de investigación del Microsoft Research en Redmond, EEUU. Regresó a España a Telefónica I+D como Directora Científica (2007-2016). En 2017 fue nombrada la primera Directora de Investigación en Ciencias de Datos de Vodafone a nivel global. Desde 2015, colabora con DataPop Alliance, una organización internacional sin ánimo de lucro creada por la Iniciativa Humanitaria de Harvard, MIT Media Lab, el Overseas Development Institute y Flowminder dedicada a aprovechar Big Data para mejorar el mundo. Ha sido consejera independiente de Bankia hasta su fusión con Caixabank. Actualmente es Vicepresidenta y Cofundadora de ELLIS (The European Laboratory for Learning and Intelligent Systems), cofundadora y directora científica de la Fundación Unidad ELLIS Alicante, Chief Data Scientist en DataPop Alliance y Chief Scientific Advisor en el Instituto Vodafone.

Destacada por su trabajo en modelos computacionales de comportamiento humano, inteligencia artificial, interacción persona-máquina, informática móvil y big data para el bien social. Su trabajo ha contribuido a la mejora y creación de nuevos servicios y productos, así como la creación de nuevas empresas.

Gracias a su trayectoria, Nuria Oliver fue nombrada Fellow de EurAI en 2016 y Fellow del IEEE y del ACM en 2017, siendo la única investigadora española que es Fellow de estas tres asociaciones al mismo tiempo. Es académica de número en la Real Academia de Ingeniería, de SIGCHI Academy (donde es la única española) y de la Academia Europaea. Ostenta un doctorado Honoris Causa por la Universidad Miguel Hernández. Ha recibido numerosos premios y reconocimientos, incluyendo el MIT TR35 Young Innovator Award (2004), el Premio Nacional de Informática (2016), la Medalla al Mérito Empresarial y Social de la Generalitat Valenciana (2017), el Premio Abie Technology Leadership Award del Instituto Anita Borg (2021) y el Premio Jaume I en Nuevas Tecnologías (2021). Además, entre sus logros destaca la co-autoría de 40 patentes y más de 180 publicaciones científicas ampliamente citadas.

Es o ha sido asesora de varias universidades y fundaciones, así como de la Comisión Europea, del Gobierno de España y de los Gobiernos de Cataluña, la Comunitat Valenciana y Navarra en temas relacionados con la tecnología, los datos y la Inteligencia Artificial. Imparte frecuentemente charlas invitadas en congresos científicos y técnicos, así como en eventos para el público en general, con el objetivo de desmitificar la Inteligencia Artificial y atraer vocaciones científico-tecnológicas (especialmente de chicas). Su pasión es crear tecnología que contribuya a mejorar la vida de las personas.

LOS RETOS: APROVECHAR LA IA EXIGE CONOCER SUS LIMITACIONES

NURIA OLIVER RAMÍREZ

Real Academia de Ingeniería

La Inteligencia Artificial ayudará sin duda a hacer frente a los grandes problemas del siglo XXI. Pero, como todas las herramientas poderosas, su uso requiere sabiduría. ¿Cómo adquirirla? Más aún, ¿cómo lograr que todos la adquiramos? Por paradójico que parezca, ser actor de pleno derecho en la era de las máquinas inteligentes exige potenciar habilidades exclusivamente humanas, como la creatividad. También, entrenar la capacidad de resistir a adictivos cantos de sirena que llegan en forma de notificaciones o *likes*. ¡Ah! Y recuperar esa exótica sensación, hoy casi olvidada, de estar aburridos.

Entramos en el siglo XXI enfrentándonos a no pocos desafíos. Nuestro éxito como especie ha traído consigo una población cada vez más envejecida, el cambio o, mejor dicho, la crisis climática y una acuciante pérdida de biodiversidad a escala planetaria, entre otros grandes retos.

En este contexto, el potencial de la Inteligencia Artificial para ayudarnos a buscar soluciones es inmenso. Sin embargo, los sistemas actuales de IA presentan limitaciones que tendremos que abordar.

Algunos de estos puntos débiles derivan de rasgos distintivos de la Inteligencia Artificial, más allá de los que ya conocemos: transversalidad, invisibilidad, complejidad, escalabilidad, actualización constante y capacidad para predecir. Pero debemos considerar otras características adicionales.

Una es la asimetría. Hoy día los sistemas de Inteligencia Artificial deben ser diseñados y entrenados por personas expertas, y necesitan acceder a grandes cantidades de datos y de computación. Se da, desgraciadamente, una situación de asimetría porque solo una minoría que tiene acceso a datos, capacidad de computación, conocimiento y experiencia puede beneficiarse plenamente de la Inteligencia Artificial. En cambio, la mayoría de la población, incluyendo administraciones públicas, ONGs o pequeñas y medianas empresas, carece de estas capacidades y es, en el mejor de los casos, mera usuaria de la tecnología. No es baladí el detalle de que a la minoría privilegiada pertenecen las grandes empresas tecnológicas que poseen, de hecho, gran parte de los datos.

Minimizar esta asimetría es uno de los grandes desafíos al que nos enfrentamos si queremos garantizar que la Inteligencia Artificial tenga un impacto positivo en toda la sociedad y no solo en una pequeña parte.

Otro gran reto deriva de la capacidad de los sistemas de IA para crear contenidos ficticios que podrían pasar por auténticos. El poder de la IA para generar fotos, textos, audios y vídeos indistinguibles del contenido real —lo que llamamos contenido *sintético o deep fakes*, por estar generados utilizando redes neuronales profundas— está transformando la comunicación, la difusión de la información y la formación de la opinión pública. Controlar la producción y distribución de este contenido artificial equivale a poseer un poder sin precedentes.

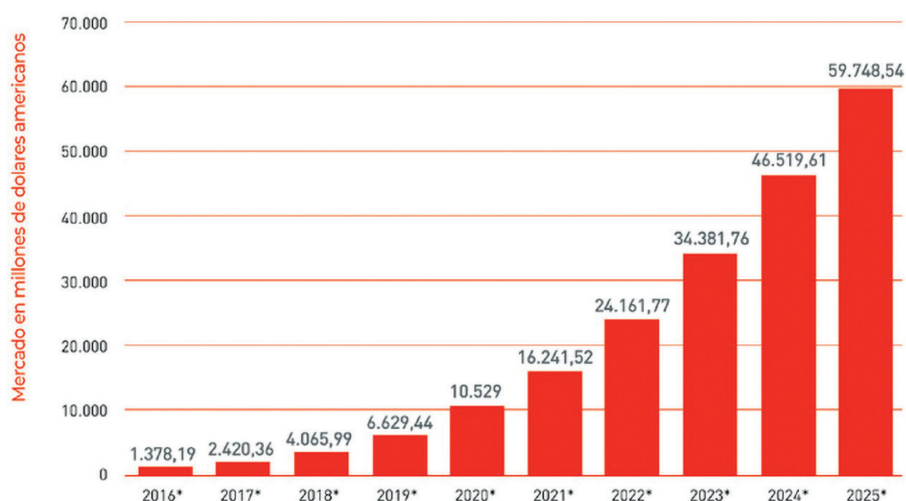
Además, los sistemas de IA no son invulnerables ante un uso malicioso de los mismos o ante su *hackeo*. De hecho, un área nueva dentro de la IA es la llamada aprendizaje adversarial, donde se entrenan sistemas de IA que engañen a otros sistemas de IA. Cuantas más decisiones de nuestra vida estén parcial o totalmente delegadas a sistemas de IA, dichos sistemas no van a ser *hackeados*.

Si no abordamos estos desafíos, el impacto de la IA no estará necesariamente distribuido de manera homogénea o justa en la sociedad. En este capítulo y en el siguiente describiré brevemente cuatro dimensiones fundamentales que hemos de considerar en el contexto del desarrollo de la IA: su impacto económico; la necesidad de invertir en el desarrollo de capacidades; el valor de la diversidad; y la importancia de definir un marco ético y una nueva gobernanza de los sistemas de IA.

Economía: viento en las velas

Desde un punto de vista económico, en 2020 el mercado de productos, *hardware* y *software*, relacionados con la Inteligencia Artificial se espera que supere los 10.000 millones de dólares, según un estudio de Statista (ver Figura 1). Con un crecimiento sostenido en el tiempo, un análisis macroeconómico de PwC estima que la Inteligencia Artificial generará en el año 2030 más de 15 billones –millones de millones– de dólares a escala mundial. Su efecto se hará sentir en todos los ámbitos de actividad y tanto en el sector público como en el privado.

Fig. 1. Estimación del tamaño del Mercado global de la Inteligencia Artificial en millones de dólares americanos (fuente: Statista).



Aplicada a los procesos de automatización, y como apoyo a la fuerza laboral, la Inteligencia Artificial impulsará la productividad, y de ahí su gran impacto económico. Además, habrá una demanda creciente de productos y servicios enriquecidos con IA por parte de los consumidores.

Norteamérica y China experimentarán los mayores beneficios, dada la concentración de la investigación, la innovación y el desarrollo de la Inteligencia Artificial en estas regiones.

Con respecto a la innovación en IA, un estudio reciente de Asgard y Roland Berger analiza la distribución de jóvenes empresas del sector en todo el planeta. EE.UU. es el líder mundial, con un 40% de todas las empresas emergentes de IA analizadas –alrededor de 1.400 *start-ups*, de las cuales unas 600 están en San Francisco–, seguido de China e Israel. En Europa, Londres es la segunda ciudad del mundo en número de empresas de IA, seguida de París en décima posición.

Otro informe, de Accenture y Frontier Economics, estima el crecimiento económico que diferentes países podrían tener si invirtiesen en IA y consiguiesen incorporar sus beneficios a la economía –en comparación con el crecimiento económico de base, sin la aportación de la Inteligencia Artificial–. El modelo descrito en este informe estima que la Inteligencia Artificial tiene el potencial de duplicar las tasas de crecimiento de los 12 países estudiados, entre los que se encuentran EE. UU., Finlandia, Reino Unido, Alemania, Francia y España.

La Inteligencia Artificial nos permitirá disponer de una medicina de precisión personalizada, preventiva y predictiva; una educación a medida de cada uno, y permanente; ciudades inteligentes; una gestión más eficiente de los recursos; y una toma de decisiones más justa, transparente y basada en la evidencia. Pero las nuevas herramientas vendrán acompañadas de cambios sociales profundos fruto de la Cuarta Revolución Industrial anteriormente descrita, incluyendo una transformación radical del mercado laboral y de las capacidades relevantes para el siglo XXI.

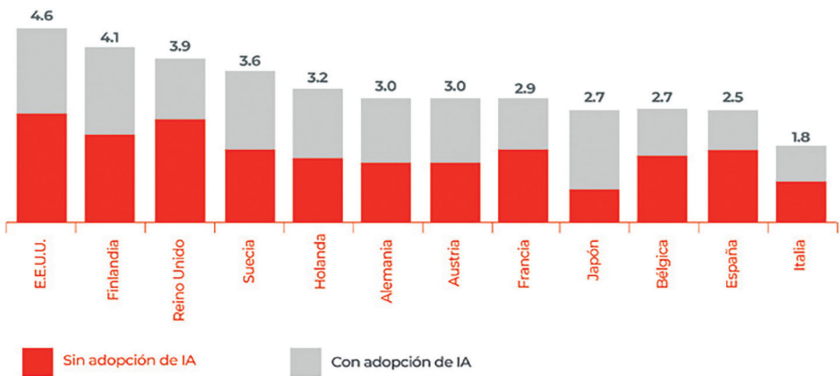


Fig. 2. Estimación del crecimiento del Producto Interior Bruto (PIB) de diferentes economías mundiales (incluyendo la española), en función de su capacidad para adoptar o no la IA (fuente: Accenture y Frontier Economics).

LA ECONOMÍA INTELIGENTE EN ESPAÑA

La economía española podría verse muy beneficiada del uso de sistemas de Inteligencia Artificial en multitud de sectores, entre ellos muchos de valor estructural como la salud; el transporte; la energía; la agricultura; el turismo; el comercio electrónico; la banca; y la administración pública. Un estudio de Accenture y Frontier Economics prevé que en 2035 el 0,8% del crecimiento del PIB español podrá atribuirse a la IA, un efecto que debería traducirse en más enriquecimiento para la sociedad en su conjunto.

El mercado laboral sufrirá una transformación profunda. En España, la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE) cifra en un 12% los empleos susceptibles de perderse por la automatización. Pero no hay que olvidar que el desarrollo de tecnologías disruptivas con capacidad para transformar la sociedad ha conllevado históricamente la generación de empleo.

El informe EPYCE 2018 recoge que el perfil más demandado en España actualmente es el de Científico/a de Datos, seguido de perfiles relacionados con el Big Data e ingeniero/a informático. La tendencia para el futuro, según el mismo estudio, no es muy distinta: el 57% de las profesiones más demandadas en España se enmarcarán en los ámbitos de la ingeniería y la tecnología.

Habría que asegurarse de que los trabajadores/as -hoy en día y en las décadas venideras- cuentan con la preparación necesaria para aprovechar las nuevas oportunidades.

Si lo puede hacer una máquina, lo hará (sola o con nuestra colaboración)

El progreso tecnológico asociado a la Cuarta Revolución Industrial está polarizando el mercado laboral. Mientras aparecen nuevos trabajos bien remunerados y que requieren especialización en áreas tecnológicas, como científico/a de datos, otras profesiones se enfrentan a la automatización parcial o total: taxistas y transportistas, cajeros/as y agentes de viaje, entre muchos otros. Si una tarea puede ser automatizada, lo será, total o parcialmente. Si la tecnología puede aumentar la eficiencia de un proceso, será necesario un menor número de trabajadores humanos para llevarlo a cabo.

En consecuencia, la demanda laboral está experimentando un sesgo en beneficio de habilidades profesionales especializadas, y en perjuicio de ocupaciones rutinarias y mecánicas. Esta tendencia permite pronosticar un cambio completo en la estructura ocupacional, una transformación que probablemente conlleve riesgos para la sociedad si no nos adaptamos.

Según un estudio de McKinsey, un tercio de los nuevos puestos de trabajo creados en EE. UU. en los últimos 25 años pertenecen a disciplinas que no existían anteriormente, en áreas como las tecnologías de la información, la fa-

bricación de hardware, la creación de aplicaciones móviles o la gestión de sistemas tecnológicos.

En la próxima década el empleo se concentrará en funciones cualificadas y con mayor aportación de valor, llegando a tasas de paro inferiores al 3,5% para estos perfiles, frente a un 20% para profesiones de una baja cualificación. Estos datos no implican necesariamente un aumento del desempleo. A escala global, un estudio reciente del Foro Económico Mundial prevé un crecimiento neto de 58 millones de puestos de trabajo en 2022 como efecto de la IA. Es decir, se espera la desaparición de 75 millones de puestos de trabajo, sí, pero también la creación de 133 millones.

La Comisión Europea [63], por su parte, anticipa que hará falta cubrir entre 700.000 y 900.000 nuevos puestos de trabajo tecnológicos a corto plazo.

La clave es que estas nuevas oportunidades laborales serán de naturaleza muy distinta a los puestos que se verán desplazados por la IA. Por ello, ¿estamos preparados, como sociedad, para suplir la demanda de nuevas ocupaciones derivadas de la IA?

Considero que no. Si no transformamos nuestros programas educativos, no lo lograremos. Es de vital importancia que invirtamos en la formación de profesionales cuyo trabajo va a verse afectado por el desarrollo de la Inteligencia Artificial, de manera que puedan seguir contribuyendo a la sociedad.

En continuo aprendizaje

Estamos progresando hacia un modelo de aprendizaje continuo a lo largo de la vida, un modelo en el que cada persona actualiza y diversifica su carrera profesional de manera permanente.

Gracias a la tecnología disponemos de sistemas de formación continua como los llamados *cursos masivos* en línea –MOOC en sus siglas en inglés–, que ofrecen, de manera escalable y económica, oportunidades de aprendizaje a cualquier persona desde cualquier lugar. Deberíamos asegurarnos de que los profesionales pueden aprender tecnologías emergentes en sus ámbitos de actividad, y así continuar cumpliendo una función incluso –y especialmente– si sus áreas de competencia se ven afectadas por la automatización.

Esta necesidad de aprendizaje constante, consecuencia del cambio también incesante causado por el progreso tecnológico, puede ser difícil de gestionar desde un punto de vista emocional. Como bien sabemos, los humanos solemos ser resistentes al cambio, especialmente conforme envejecemos. Deberíamos por tanto contemplar la posibilidad de que algún colectivo sea incapaz de adaptarse a la permanente necesidad de aprendizaje, lo que lo privaría de las herramientas necesarias para contribuir a la sociedad del mañana.

Corremos el riesgo de que este grupo social se convierta, en palabras del historiador Yuval Noah Harari, en una “clase inútil”. ¿Cómo tratar el problema? Algunas soluciones propuestas son la creación de un salario básico universal o la provisión universal y gratuita de las necesidades básicas por parte de los gobiernos.

Más allá del mercado laboral, el desarrollo e implantación de una Inteligencia Artificial centrada en las personas debería resultar en un empoderamiento de la ciudadanía, de cada uno de nosotros. Una condición necesaria para este empoderamiento es el conocimiento.

La asignatura pendiente: el ‘Pensamiento Computacional’

Necesitamos invertir en educación formal e informal. De lo contrario será muy difícil, si no imposible, que como sociedad seamos capaces de tomar decisiones sobre tecnologías que no entendemos, y que en consecuencia frecuentemente tememos. Coincido plenamente con las palabras de Marie Curie, “nada en la vida debería temerse, sino entenderse. Ahora es momento de entender más para así temer menos”. Pero ¿dónde estamos? ¿Qué nivel de conocimiento tecnológico tenemos, tanto niños y jóvenes como adultos?

En el libro *Los nativos digitales no existen* exploro estas preguntas en el capítulo *Erudit@s digitales*, que enfatiza la necesidad de enseñar Pensamiento Computacional en la educación obligatoria, así como de desarrollar el pensamiento crítico, la creatividad y la inteligencia social y emocional. Son habilidades que hoy descuidamos, y sin embargo cada vez van a resultar más importantes para nuestra salud mental y nuestra coexistencia pacífica y armoniosa con la tecnología, con otros humanos y con nuestro planeta.

El término *alfabeto digital* se refiere a quienes saben utilizar una amplia gama de dispositivos digitales, como teléfonos móviles, ordenadores, tabletas, etc. Desde este punto de vista podríamos considerar que la gran mayoría de nuestros jóvenes, adolescentes y niños son hoy día alfabetos digitales. Según un estudio reciente de Pew Research Center sobre el uso de la tecnología en los adolescentes estadounidenses, un 88% de ellos tienen un teléfono móvil, un 94% tienen acceso a un ordenador y un 24% reconocen estar conectados casi constantemente.

Este nivel de adopción de la tecnología es sin duda una buena noticia, ya que numerosos estudios corroboran el impacto positivo del acceso a la tecnología e internet en el desarrollo de un país. Así pues, observando estas cifras podríamos pensar que las nuevas generaciones están plenamente preparadas para ser competentes en el mundo digital. Después de todo, son nativos digitales. ¿O tal vez no?

Es fundamental no confundir el saber usar una tecnología con saber cómo funciona. Y aunque nuestros hijos vivan enganchados a ella, tanto chicos como

chicas, ¿cuántos de ellos saben cómo funciona esa tecnología alrededor de la cual gira su vida?

Parecería que muy pocos. Un estudio de Horizon 2014 en Europa enfatiza los deficientes niveles de competencia digital de los niños y adolescentes europeos. Otro informe reciente, de EU Kids Online¹, subraya que dos tercios de los niños británicos de entre 9 y 10 años saben sobre internet tanto como sus progenitores. En lo que se refiere al conocimiento de la tecnología en la ciudadanía, también queda todavía mucho camino por recorrer. Una encuesta reciente de la Fundación Española de la Ciencia y la Tecnología (FECYT)² arroja resultados preocupantes: sólo un 16.3% de los españoles sienten interés por la tecnología o la ciencia, un porcentaje que desciende al 13.7% cuando se considera únicamente a las mujeres.

En vista de estos resultados, la Comisión Europea publicó en 2018 un *Plan de acción de la educación digital*, que incluye once acciones para fomentar el uso de la tecnología y el desarrollo de competencias tecnológicas a través de la educación. El Plan señala tres prioridades: hacer un mejor uso de la tecnología digital para la enseñanza y el aprendizaje; desarrollar competencias y habilidades digitales de relevancia para la transformación digital; y mejorar los sistemas educativos a través del análisis de datos y procesos de previsión.

Desde un punto de vista formal, la educación obligatoria de muchos países del mundo –entre los que desgraciadamente no se encuentra España– ya incorpora en todas o algunas de sus etapas una asignatura troncal de Pensamiento Computacional. El concepto Pensamiento Computacional [29] hace referencia a los procesos mentales –humanos– que ayudan a formular los problemas de manera que un ordenador pueda operar con ellos y resolverlos. Algo así como aprender a pensar como una máquina para poder utilizarla en la resolución de problemas, y de este modo conseguir que todos podamos beneficiarnos de la capacidad de los ordenadores para buscar soluciones óptimas.

No es una idea nueva. El término fue empleado por primera vez por Seymour Papert en su libro de 1980 titulado *Desafío a la mente: computadoras y educación*. Seymour era en aquel momento co-director con Marvin Minsky del laboratorio de Inteligencia Artificial de MIT y fue pionero del uso de los ordenadores en el aprendizaje de los niños. Creó, entre otros, el lenguaje de programación Logo con fines educativos.

Más recientemente, en 2006, Jeanette Wing –en ese momento en la Universidad de Carnegie Mellon– escribió un artículo [64] para la publicación de la

¹ <http://globalkidsonline.net/eu-kids-online/>

² <https://icono.fecyt.es/principales-indicadores/interes-por-la-ciencia>

Asociación de Maquinaria de Computación, *Communications of the ACM*, que dio visibilidad a la importancia del Pensamiento Computacional como una habilidad y una actitud valiosa para todas las personas, no solo para los expertos/as en informática. Para Wing, “el Pensamiento Computacional describe la actividad mental orientada a formular un problema de manera que admita una solución computacional. Esta solución puede ser llevada a cabo por humanos o por máquinas, o por una combinación de humanos y máquinas”.

Como asignatura, el Pensamiento Computacional abarca cinco áreas deconocimientobásicas enuncontextotecnológico, adaptadasacada nivel educativo: los algoritmos, los datos, las redes, la programación y el hardware. Existen ejemplos de currículos de Pensamiento Computacional de distintos países del mundo, que pueden tomarse comoreferencia. Unodelosesfuerzosdemayorenvergadura es probablemente el de Reino Unido, que incorpora un currículum de Pensamiento Computacional en todos los colegios a partir de los cinco años. Además, hay programas específicos para atraer a las niñas a las ciencias y la tecnología. Es destacable igualmente la iniciativa lanzada en 2016 en EE. UU. por el entonces presidente Barack Obama, dotada con de 4.000 millones de dólares, para universalizar el estudio de la informática y las competencias digitales en los colegios del país.

Uno de los mayores retos con respecto al éxito en la incorporación del Pensamiento Computacional en la educación obligatoria es la inversión ambiciosa en la necesaria formación al profesorado. En España existe un proyecto de ley educativa que incorpora el Pensamiento Computacional. Ojalá cuando estén leyendo este libro ya esté aprobada dicha ley. Porque los sistemas educativos de otros países ya enseñan, entre otras cosas, a programar y a diseñar algoritmos, y a representar y analizar datos en los ordenadores.

Los niños y niñas de esos países serán conscientes del valor de sus datos personales, entenderán cómo se comunican las máquinas entre sí y cómo funcionan el *World Wide Web*, los buscadores y las redes sociales. A esos niños y a esas niñas se les están brindando oportunidades para desarrollar sus competencias digitales. ¿Y a los nuestros?

Corremos el riesgo de que haya una élite minoritaria –y homogénea– de expertos que saben cómo funciona la tecnología y son capaces de crearla, erigiéndose así en constructores exclusivos de un futuro a su medida. Mientras tanto, una gran masa de gente usará esa tecnología que otros han creado y quedará excluida –excepto como consumidores– de ese futuro tecnológico.

Es importante destacar que la inacción no va a resolver la situación. Deberíamos poder ofrecer a nuestros niños la educación que les permita llegar a ser erudit@s digitales. Y deberíamos también poner en marcha acciones para fomentar vocaciones científico–tecnológicas entre nuestros jóvenes –dada la

inmensa demanda anticipada en profesiones tecnológicas—, especialmente entre las chicas, ya que en el ámbito tecnológico hay una preocupante falta de diversidad de género. Como veremos a continuación, la diversidad enriquece, tanto literal como metafóricamente.

El mundo necesita más *erudit@s digitales*, formarlos está en nuestras manos, como explico a continuación.

Erudit@s digitales

Una persona *erudita digital* entiende la diferencia entre, por ejemplo, llamar vía *Skype* y por teléfono tradicional; sabe qué son y cómo se usan sus datos personales capturados *online*; conoce el término *Big Data*, y el valor de las cantidades ingentes de datos; está familiarizada con el funcionamiento de internet, una red social o un móvil/ordenador; y sabe programar, entre otras habilidades.

Ser erudito digital comporta poder apoyarse en la tecnología para desarrollar el propio potencial, y contribuir a desarrollar el potencial de la tecnología como herramienta para fomentar la creatividad, resolver problemas, crear oportunidades y, en general, mejorar la calidad de vida.

Ser *erudito digital* implica saber cómo distinguir entre el contenido veraz y el no veraz, poder contrastar contenidos digitales y crear nuevos contenidos propios.

Sin embargo, además de las capacidades técnicas será fundamental desarrollar la creatividad y los aspectos emocionales y sociales de nuestra inteligencia. Serán estas habilidades las que nos ayudarán a sacar el máximo partido de una tecnología que cada vez va a ser más potente —incluso superará nuestras habilidades—, y al mismo tiempo más adictiva.

Por ello, ser erudito digital requiere también desarrollar capacidad de autocontrol y sentido crítico. Son estas habilidades las que sirven de guía a la hora de discernir entre el uso apropiado y el no apropiado de la tecnología, entre el uso productivo, constructivo, y el que no es ni productivo ni constructivo.

Los nativos digitales no nacen, se hacen: hacia una sociedad de erudit@s digitales

Las habilidades y los conocimientos necesarios para los jóvenes de hoy deben ser enseñados, no se aprenden simplemente usando la tecnología. Es una de las conclusiones del Estudio Internacional en *Alfabetización sobre la Información y la Informática*, publicado en 2013 y que analiza el grado de competencia con los ordenadores y la capacidad para gestionar información de 60.000 alumnos de 2ª de la ESO en 21 sistemas educativos en todo el mundo.

Los estudiantes, revela el trabajo, no adquieren las capacidades digitales necesarias si estas no son enseñadas formalmente. En otras palabras, para contribuir realmente a la sociedad del futuro no basta con ser usuario de la tecnología. Ese es obviamente un primer paso para poder orientarse –¿sobrevivir?– en un mundo altamente automatizado; pero si de verdad queremos que las próximas generaciones contribuyan a este futuro tecnológico tenemos que asegurarnos de que adquieren las capacidades para ser erudit@s digitales.

Para conseguir que nuestros jóvenes participen en el diseño del mundo que viene deberíamos enseñarles cómo funciona la tecnología, y además ayudarles a desarrollar un sentido crítico en su uso. Una cosa es usar y consumir, y otra muy distinta conocer.

Por ello propongo que dediquemos esfuerzos para fomentar una cultura de erudit@s digitales. El concepto de *erudición digital* conlleva dimensiones tanto de conocimiento técnico de la tecnología, como de desarrollo de la creatividad, el pensamiento crítico y de herramientas emocionales y sociales para tomar decisiones, colaborar y contribuir en la sociedad del futuro.

Desde un punto de vista de los conocimientos técnicos, ser erudito digital implica conocer con detalle cómo funciona la tecnología que usamos en nuestro día a día, para poder crear a su vez nuevas herramientas que contribuyan al progreso y nos ayude a afrontar los retos globales. La solución a problemas tan poco triviales como el calentamiento global, la crisis energética, el envejecimiento de la población o la brecha entre ricos y pobres tendrá en muchos casos un fuerte componente tecnológico, y de tecnología que aún no hemos inventado.

Ser erudit@ digital implica dominar el Pensamiento Computacional –como hemos descrito anteriormente, pero no únicamente–. La empatía, la paciencia, la perseverancia, la concentración mantenida en una tarea compleja, la tolerancia, la flexibilidad, la habilidad de gestionar el aburrimiento o de aceptar una gratificación a largo plazo son igualmente cualidades muy valiosas en el contexto actual.

Son, también, cualidades que difícilmente podemos desarrollar y cultivar con experiencias exclusivamente tecnológicas, diseñadas para gratificarnos inmediatamente y con frecuentes interrupciones. Veamos algunas de ellas en más detalle.

Golosinas para el cerebro

La gratificación a largo plazo se asocia con la capacidad de rechazar un premio inmediato pero pequeño, a cambio de conseguir otro mayor, más tarde. En la literatura científica se han encontrado conexiones entre la capacidad para la gratificación a largo plazo y el éxito académico, la salud física y psicológica, y

las habilidades sociales. La gratificación a largo plazo está asociada con la paciencia, el control de los impulsos, la fuerza de voluntad y el autocontrol, habilidades que forman parte de la función de autorregulación de las personas.

Según numerosos trabajos, la gratificación a largo plazo es una habilidad con impacto positivo en nuestra vida, uno de los elementos que nos permite perseverar en tareas que no dan sus frutos de inmediato. ¿Pero qué relación tiene la tecnología con la gratificación a largo plazo?

La tecnología de hoy en día, con una cantidad ilimitada de estímulos altamente atractivos para nuestras neuronas, es como una golosina para nuestro cerebro. Además, suele enfocarnos en el momento presente, el ahora, lo que aumenta nuestra susceptibilidad a la gratificación a corto plazo y nos hace más difícil pensar a largo plazo.

Según el profesor emérito de psicología de la Universidad de Stanford, Philip Zimbardo, autor del libro *La paradoja del tiempo: La nueva psicología del tiempo*, la tecnología está impactando nuestra percepción del tiempo y nuestra manera de pensar. “La tecnología crea una obsesión con el tiempo, pero está muy enfocada en el corto plazo, en el momento presente”, ha afirmado Zimbardo.

Desde un punto de vista psicológico lo ideal es encontrar un equilibrio entre tres horizontes temporales. Es importante mirar al futuro, porque eso nos motiva a perseverar en la obtención de objetivos a medio-largo plazo; también lo es mantener una perspectiva positiva del pasado, de manera que cuando reflexionemos sobre nuestra vida y hechos pasados tengamos una sensación placentera; y, finalmente, hay que incorporar una vivencia hedonista del presente, para poder disfrutar del momento, de los amigos y familiares.

Cada vez tenemos una relación más íntima e intensa con la tecnología, mirando constantemente nuestros dispositivos móviles, enviando y recibiendo mensajes, conectándonos a través de redes sociales y siendo interrumpidos por notificaciones cada vez más abundantes.

Según la consultora Nielsen, el 43% del tiempo que dedicamos a interactuar con tecnología lo dedicamos a actividades de entretenimiento y auto-estimulación. En la misma línea, en 2017 un estudio de Activate cuantificaba en más de 12 horas diarias el tiempo que los adultos estadounidenses dedicaban al consumo de tecnología para el entretenimiento y las relaciones sociales, incluyendo los periodos de multitarea, es decir mientras hacen otras cosas.

Esta omnipresencia de la tecnología nos somete a un estado de presente hedonista. Con nuestra atención secuestrada, permanecemos concentrados ma-

yoritariamente –y a veces exclusivamente- en el ahora, lo que dificulta nuestra capacidad para encontrar el necesario equilibrio con las otras dos perspectivas temporales fundamentales en nuestra vida: el medio-largo plazo, y el pasado.

Un estudio del Instituto Pew en 2012 encontró que entre la generación conocida como *millennials* la hiperconectividad podría contribuir a una necesidad de gratificación inmediata, y a una falta de paciencia. El estado de conexión permanente nos proporciona estímulos de manera casi inmediata, acelerando nuestro sentido del tiempo y fomentando la impaciencia cuando algo tarda más de unos segundos en suceder.

Otro elemento que fomenta nuestro foco en el ahora y en la gratificación inmediata es la incertidumbre sobre si recibiremos o no contenido relevante –un mensaje, un post en nuestro muro de Facebook, un *Like* en la última foto que hemos subido a Instagram, etcétera-. Es decir, el premio –o gratificación- no está asegurado, y ese factor de aleatoriedad, en tanto en cuanto suceda al menos en un 25% de las ocasiones, es más efectivo, a la hora de hacernos volver repetidamente a la tecnología, que si el premio fuese consistente.

En una interesante charla TED, Tom Chatfield, diseñador de videojuegos, explica cómo, después de analizar datos sobre millones de jugadores, los diseñadores de videojuegos descubrieron que la manera más efectiva de mantener a las personas ante la pantalla es concederles un premio –por ejemplo, pasar un nivel, recolectar monedas, etcétera- al menos el 25% de las veces que intentan conseguirlo.

Otro ejemplo de la efectividad de estas gratificaciones aleatorias son las máquinas de jugar en los casinos. Estudios con animales muestran que los premios aleatorios no solo motivan a los animales a realizar una cierta tarea, sino también a hacerla mejor que si reciben premios consistentemente cada vez que la hacen bien.

Por un lado, la tecnología nos hace enfocarnos en el presente y en las gratificaciones inmediatas; por otro, los estudios corroboran el valor y la importancia de la habilidad para aceptar gratificaciones a largo plazo. Es importante ser conscientes de esta tensión, y fomentar actividades que refuercen la gratificación a largo plazo en todos nosotros, pero sobre todo en niños y adolescentes.

El mito de la multitarea

La atención humana es un bien escaso. En ese principio se basa el concepto de la economía de la atención, acuñado por Herbert Simon en 1971 y de nuevo de actualidad, teniendo en cuenta la capacidad de las nuevas tecnologías para confinar nuestra atención en el *ahora*.

Según los analistas Thomas Davenport y John Beck, autores del libro *La economía de la atención*, publicado en 2001, la atención humana “es un estado mental de concentración en un elemento en particular”. Una vez percibimos un objeto o contenido concreto le prestamos atención y, en función de lo percibido, decidimos cómo actuar. Conforme tenemos acceso a más contenidos y aplicaciones, la atención humana se convierte en el factor limitante en el consumo de información.

Además, esta lucha constante por reclamar nuestra atención nos hace caer en un estado de multitarea permanente, en el que nos dedicamos superficialmente a varias cosas a la vez, con cambios muy rápidos de atención de una cosa a otra. De hecho, casi nos parece imposible hoy en día hacer una única cosa, sobre todo en el contexto tecnológico: vemos la televisión con el móvil en la mano, manteniendo varias conversaciones de texto a la vez o mirando contenidos en internet. La tecnología nos hace sentir como superhéroes, capaces de hacer varias cosas a la vez.

Pero ¿lo somos realmente? Numerosos estudios recientes han investigado el efecto de este estado constante de prestar atención a varios estímulos simultáneos. Y los resultados no son alentadores.

Un estudio de la Universidad de California en Irvine (EE. UU.) con trabajadores en una oficina analizó el impacto de las interrupciones, y encontró que se tardaba al menos 25 minutos en recuperar el grado de productividad previo a la llamada, el email o la notificación correspondiente. Otro estudio llevado a cabo por el Instituto de Psiquiatría de la Universidad de Londres observó que las personas distraídas por la tecnología experimentaban una disminución de su coeficiente intelectual superior al que tendrían si hubiesen consumido marihuana.

Todos estos trabajos apuntan a que la aparente capacidad de hacer varias cosas a la vez, apoyada por la tecnología, es una ilusión: el cerebro procesa la información de manera lineal. Además, el estado de multitarea casi permanente podría tener un impacto negativo en nuestra capacidad para enfocarnos en una única tarea durante largos periodos de tiempo, así como para el control emocional.

Vivimos rodeados de tecnología que compite por atrapar nuestra atención. Todos estos estímulos son muy atractivos para nuestro cerebro y por ello a menudo nos resulta difícil resistirnos. Sin embargo, es fundamental fomentar y cultivar la habilidad de concentrarse y sostener la atención en una única tarea, para conseguir una generación de erudit@s digitales.

No obstante, no siempre encontramos estímulos lo bastante interesantes como para capturar nuestra atención. Y es entonces cuando sentimos aburrimiento. ¿Qué relación tiene la tecnología con el aburrimiento? ¿Cuándo fue la última vez que estuvimos aburridos? Con un teléfono siempre en nuestras manos, conectado y cargado de opciones para el entretenimiento y la comunica-

ción, ¿estamos perdiendo la habilidad de estar aburridos? ¿Qué consecuencias puede tener esta pérdida del aburrimiento en nuestras vidas? Exploremos estas preguntas en la siguiente sección.

El valor del aburrimiento

El aburrimiento es un estado emocional caracterizado por la falta de estímulos y por el deseo de satisfacer esta carencia. Una persona aburrida siente a menudo desinterés por los estímulos a su alcance, y puede resultarle difícil concentrarse en la actividad del momento. El psicólogo de la Universidad de York (Toronto, Canadá) John D. Eastwood enfatiza que una persona aburrida no es simplemente alguien sin nada que hacer, sino alguien que busca activamente estimulación sin encontrarla. De hecho, el ansia de escapar al aburrimiento puede llegar a ser muy intensa: en un estudio liderado por Timothy Wilson, de la Universidad de Virginia (EE. UU.), los participantes prefirieron administrarse dolorosos electros-hocks antes que estar solos sin hacer nada durante unos minutos.

Pero el aburrimiento no tiene por qué ser necesariamente negativo. Como dijo Dorothy Parker, poeta y escritora americana, “la cura contra el aburrimiento es la curiosidad”. Andreas Elpidorou, de la Universidad de Louisville (EE. UU.), escribe en un artículo científico que “sin el aburrimiento, estaríamos atrapados en situaciones poco gratificantes y perderíamos la oportunidad de vivir experiencias emocional, cognitiva y socialmente estimulantes. El aburrimiento nos indica que no estamos haciendo algo que nos satisface y nos empuja a cambiar de actividad, buscando una actividad más estimulante”.

Otros beneficios del aburrimiento incluyen la oportunidad de iniciar procesos creativos y de autorreflexión. Son varios los estudios que hallan conexiones entre el aburrimiento y la creatividad. Si perdemos la capacidad de estar aburridos, de frenar el procesado continuo de estímulos y de dejar que nuestra mente genere ideas, quizás también estaremos perdiendo la creatividad, una de las capacidades que nos identifican como humanos.

Por ello, el tercer elemento que considero importante en una cultura de eruditos digitales es el aburrimiento.

Al proporcionarnos estimulación constante la tecnología cambia nuestra tolerancia al aburrimiento: con el tiempo nos habituamos a un cierto nivel de exposición a estímulos, y cuando ésta disminuye nos sentimos aburridos.

Un estudio del Centro Internacional para los Medios y la Agenda Pública (ICM-PA) solicitó a un millar de estudiantes de diez países en cinco continentes que pasaran 24 horas sin ningún acceso a contenidos multimedia, a medios de comunicación ni al móvil –redes sociales, WhatsApp, etcétera—³. Una vez con-

³ <https://theworldunplugged.wordpress.com/>

cluido el periodo de abstinencia digital los estudiantes compartieron sus experiencias por escrito. Sus más de medio millón de palabras revelaron tendencias y elementos comunes en su experiencia.

Así, los estudiantes utilizaron reiteradamente el término *adicción* para describir su relación con las tecnologías de comunicación (“me moría de ganas por usar un teléfono, me sentía como un drogadicto sin droga”). Además, en todos los países una mayoría de estudiantes reconocieron haber fracasado en su intento por estar desconectados durante 24 horas. También admitieron que sus teléfonos móviles ya forman parte de sus cuerpos, y por ello les resulta imposible no tenerlos cerca –de hecho, existe la *nomofobia*, el miedo irracional a no tener el móvil cerca o no saber dónde está–.

Enfatizaron que estar conectados no es simplemente un hábito, sino un elemento esencial en su capacidad de relacionarse con los demás. La soledad emergió en sus relatos como el sentimiento que aflora al estar desconectados.

Los estudiantes ganaron tiempo al estar desconectados, pero les resultó difícil imaginar cómo ocupar esas horas. El teléfono fue reconocido como elemento que proporciona seguridad y confort. En cuanto al móvil como herramienta para recibir información, en la mayoría de los casos los jóvenes reconocieron leer solo los titulares –140 caracteres de Twitter– de una noticia. Las noticias completas les parece demasiado largas. La televisión fue considerada un medio para relajarse, mientras que la música emergió como elemento de escape primordial y para influir en el estado de ánimo.

Estos resultados coinciden con los de otros trabajos que ven en los teléfonos móviles una herramienta para pasar el tiempo y combatir el aburrimiento. Los móviles se han convertido en nuestros más fieles compañeros; los mantenemos próximos, a nuestro lado, en situaciones de aburrimiento como en los viajes de metro y autobús, en los momentos de espera, etcétera. Recurrimos al teléfono para pasar el tiempo, para autoestimularnos, sin ninguna tarea concreta en mente.

Desde mi punto de vista, esta realidad podría representar una oportunidad: si los móviles fuesen capaces de detectar cuándo estamos aburridos, también podrían sugerir un mejor uso de esos momentos. Podrían recomendarnos contenidos, servicios o actividades relevantes; sugerirnos prestar atención a tareas pendientes; o ayudarnos a hacer un uso positivo de ese momento de aburrimiento, quizás fomentando la introspección y la creatividad. Exploramos estas ideas en un proyecto realizado en mi equipo de investigación en 2015 con resultados muy prometedores.

¿Por qué no diseñamos tecnología que nos sugiera que la apaguemos?

Una 'app' para aburridos

El aburrimiento podría abrir una inesperada ventana de oportunidad para desconectarnos de la tecnología. Junto con mi grupo de investigación desarrollamos en 2015 una aplicación para el móvil, Borapp, capaz de determinar si el usuario del teléfono está aburrido o no. El sistema está lejos de ser perfecto, pero representa un primer paso en el diseño de tecnología que nos entiende mejor y tiene el potencial de ayudarnos en la gestión de nuestro tiempo y nuestras emociones.

Borapp podría ser una herramienta que nos ayudase a recuperar un estado emocional que estamos empezando a perder, el aburrimiento, y a aprovechar sus aspectos positivos. Aunque un gran porcentaje de nosotros –y aún mayor de adolescentes– no podamos vivir sin nuestros móviles y estemos constantemente conectados, ¿tiene valor el tiempo que pasamos desconectados? ¿Qué pasaría si nuestro móvil nos sugiriese que lo apagásemos? ¿O será el aburrimiento una reliquia del pasado? ¿Qué pasaría con nuestra creatividad en ese caso?

La importancia del tiempo *off*

Conforme desarrollamos una relación más sinérgica e íntima con la tecnología –una tecnología que a su vez es cada vez más potente, inteligente y conectada–, se convierte en crítico el que seamos capaces de mantener un número mínimo de horas al día de descanso tecnológico, de tiempo *off*.

Jennifer Falbe, del departamento de Ecología Humana de la Universidad de California, abordó en un estudio publicado en 2015 la relación entre uso de pantallas y sueño, en más de 2.000 niños y niñas de cuarto y primero de la ESO en Massachusetts, EE. UU. Los resultados apuntan a la conveniencia de poner restricciones a la tecnología –tabletas, teléfonos, televisión– en los dormitorios de los niños y adolescentes. Los que dormían cerca de una pantalla pequeña declararon dormir 20 minutos menos al día que los que no tenían pantallas; y en el grupo con pantallas también eran más los que sentían no haber dormido o descansado lo bastante.

Las actividades que se realizan con estos dispositivos suelen ser muy estimulantes, lo que dificulta la conciliación de un sueño que, por añadidura, puede verse interrumpido por notificaciones audibles durante la noche. Además, la luz de las pantallas brillantes envía al cuerpo la señal de que todavía es de día, lo que inhibe la producción de una hormona implicada en la regulación del sueño, la melatonina. Por ello se recomienda tener unos minutos de descanso con la luz apagada antes de ir a dormir.

⁴ Falbe J, Davison KK, Franckle RL, Gehre C, Gortmaker SL, Smith L, Land T, Taveras EM. Screens in children's sleep environments, sleep duration, and perceived insufficient rest. *Pediatrics*. 2015; 135(2):e367-75.

Más allá de la necesidad de tener suficientes horas de descanso de calidad, varios estudios corroboran la importancia de saber desconectar y realizar actividades no tecnológicas.

Una actividad que es importante mantener son las relaciones humanas cara a cara, sin tecnología. A fin de cuentas, el *Homo sapiens* es una especie social. La profesora del MIT Sherry Turkle lleva más de treinta años investigando la relación subjetiva entre las personas y la tecnología. En su libro, “En Defensa de la conversación”, analiza el impacto que está teniendo la tecnología en nuestra capacidad para conversar cara a cara, y postula que la disminución – incluso en algunos casos desaparición– de las conversaciones en nuestras vidas representa una grave amenaza para nuestras relaciones, nuestra creatividad y también nuestra productividad.

Mantener un equilibrio entre la comunicación cara y cara y la comunicación mediada por la tecnología va a ser crítico, sobre todo la tecnología que utilizamos para mantenernos conectados tenga las limitaciones actuales, forzándonos en muchos casos a comunicarnos usando únicamente texto y por tanto perdiendo la riqueza de lenguaje no verbal que caracteriza la comunicación humana.

También será necesario equilibrar nuestras interacciones con sistemas conversacionales inteligentes –asistentes personales como *Alexa* o *Google Home*– y nuestras interacciones con humanos. Estos sistemas carecen hoy en día de habilidades de las inteligencias social y emocional, y en muchos casos son incapaces de interpretar correctamente el lenguaje no verbal, tan importante y característico de la comunicación humana. Y ya sabemos que, en la naturaleza, lo que no se usa, se pierde...

Más allá de la comunicación y las relaciones, mantener una presencia y conexión físicas con el mundo que nos rodea es fundamental para nuestra salud mental, nuestro bienestar emocional, nuestra creatividad y, en último grado, nuestra felicidad.

FIDEL ORTEGA ORTIZ DE APODACA

Doctor en Farmacia por la Universidad Complutense. Se encuentra en posesión del Título Oficial de “Farmacéutico especialista en Análisis y Control de Medicamentos y Drogas”. Actualmente vinculado al Departamento de Química Analítica, Química-Física e Ingeniería Química de la Universidad de Alcalá

Ha participado en redes de docencia internacionales bajo el auspicio de la Agencia Española de Cooperación Iberoamericana (AECI), impartiendo cursos y conferencias en diferentes países (Argentina: Universidad de Córdoba (1999). Bolivia: Universidad Mayor de San Andrés (1998) y Cuba: Universidades de Santa Clara y Camagüey (1996). (Argentina): Universidad de La Plata (2008). México, Estado de Hidalgo, ITSOEH y la Universidad Politécnica de Francisco I. Madero (2009-2010).

Académico numerario de la Real Academia Nacional de Farmacia. Es también Académico Correspondiente de la Real Academia de Farmacia de Cataluña (26-04-2010). Es miembro Vocal de la Comisión Nacional de la Real Farmacopea Española (Orden SAS/1545/2010 de 27 de mayo).

Entre sus distinciones cuenta con la medalla de oro de la Facultad de Farmacia de la universidad de Alcalá (2009), la medalla Institucional de la Facultad de Farmacia de la universidad Complutense (2009) y con la Placa de Distinción Colegial del Colegio Oficial de Farmacéuticos de Madrid (2008).

CIENCIA Y TECNOLOGÍA ANALÍTICA EN TERAPÉUTICA Y DESARROLLO DE MEDICAMENTOS

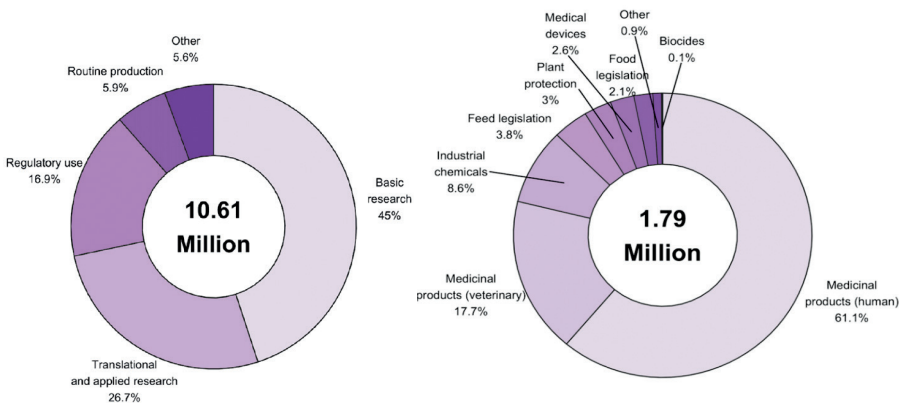
FIDEL ORTEGA ORTIZ DE APODACA

Real Academia Nacional de Farmacia

A principios del mes de enero del año 2023, la prensa internacional se hizo eco de que en los Estados Unidos de Norteamérica se acababa de aprobar la Ley de Modernización de la FDA 2.0, sustituyéndose la legislación anterior vigente desde el año 1938 y que establecía el requisito normativo de utilizar animales de experimentación en los ensayos con nuevos medicamentos, con el fin de demostrar su eficacia y seguridad antes de su aprobación para poder ser comercializados.

En la nueva Ley este requisito queda ahora eliminado, abriéndose la puerta a otras alternativas al uso de animales que permitan supervisar con garantías la seguridad de los medicamentos. Adicionalmente se aprobó también un presupuesto millonario para para apoyar un Programa de Nuevos Métodos Alternativos que puedan reducir las pruebas con animales.

Esta decisión ha sido muy aplaudida desde asociaciones animalistas que llevan años reivindicando la eliminación de las pruebas con animales, como “Animal Wellness Action” o “Cruelty Free International”, asegurando que se utilizan anualmente más de 190 millones de animales en la experimentación científica. Solo en los países miembros de la Unión Europea, se utilizaron más de 10 millones de animales con fines científicos en año 2019, de los cuales 1,79 millones se requirieron por necesidades normativas, de acuerdo con lo indicado en el informe anual preceptivo de la UE del año 2022. Probablemente este es un argumento suficientemente válido para justificar la utilización de métodos alternativos, aunque no es el único. Otras cifras también invitan a la reflexión, como por ejemplo que en el año 2004 la FDA estimara que el 92% de los fármacos candidatos que pasaron los ensayos preclínicos de seguridad no llegaron al mercado, y que estudios más recientes elevan esta cifra al 96% (National Institute of Health). Además, se estima que el 50% del fracaso en los ensayos en las fases clínicas con humanos se debe a problemas de seguridad que no son detectados en la fase preclínica. Algunos de estos fracasos ocurridos ya en este siglo XXI pueden verse en la tabla I, todos ellos con consecuencias fatales.

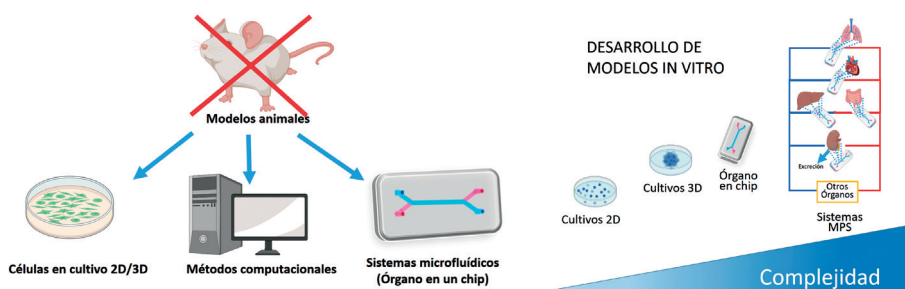


Summary Report on the statistics on the use of animals for scientific purposes in the Member States of the European Union and Norway in 2019.

Todas estas consecuencias, han disparado los costes de desarrollo y comercialización de nuevos medicamentos, incluyendo los fracasos, que en los últimos 50 años se han multiplicado por 15, desde los 180 millones de dólares en la década de los 70, hasta los 2.600 millones que pueden llegar a costar actualmente. No cabe duda de que un porcentaje muy elevado de estas cifras corresponde a los ensayos de seguridad preclínica, que caen en saco roto si el medicamento en fase de investigación clínica no llega al mercado.

Entre las posibilidades alternativas que Incorpora la nueva Ley y que define como “pruebas no clínicas” se incluyen otros ensayos, como los basados en células, modelos bioimpresos en sistemas microfluídicos, las metodologías “in silico” (computacionales) y los dispositivos que utilizan células humanas en cultivo en entramados tridimensionales formando organoides, conocidos como sistemas microfisiológicos (MFS) u órganos en un chip (OOAC). (Fig. 1). Estos dispositivos incorporan en su configuración pequeños compartimentos interconectados mediante capilares para albergar tejidos y organoides que generan señales medibles mediante dispositivos sensores integrados en el chip. Se reproducen, por tanto, a pequeña escala y en un espacio miniaturizado, los diferentes procesos asociados a cada uno de los órganos, generando resultados medibles en tiempo real en respuesta a la adición de diferentes sustancias de interés, cuando éstas se agregan al chip.

Figura 1.
Alternativas al uso de animales en la experimentación científica y su grado de complejidad conforme en función de su naturaleza



Entre las ventajas que presentan estos dispositivos se encuentran la posibilidad de proporcionar un entorno fisiológico y fisiopatológico replicable a las características del ser humano tanto en modelos sano como de enfermedad, ofrecen también la posibilidad de Interacción intercelular, tan importante en la respuesta global del dispositivo, y muestran además una capacidad de muestreo elevada con la posibilidad de integración de sistemas inteligentes de análisis automático, superándose además las dificultades de naturaleza ética y legal. Mejoran, por tanto, las posibilidades que ofrecen los métodos que utilizan células en cultivo en un entorno semiestático y plano en monocapa, que conlleva en muchos casos una pérdida o desactivación de las funciones celulares, mejorándose también la transferencia de masa a través de canales microfluídicos.

TABLA I		
MOLÉCULA	LABORATORIO	COMENTARIO
Vioxx (rofecoxib) (2004)	Merck	Retirado voluntariamente por el laboratorio al observarse un elevado riesgo de padecer enfermedad cardíaca e ictus en más de 100.000 pacientes, en un periodo de 5 años. El año anterior a su retirada, las ventas de este medicamento superaron los 2.500 millones de dólares.
TGN1412 (2006)	TeGenero	Seis voluntarios sanos experimentaron fallo multiorgánico en la 1ª fase del ensayo clínico al recibir 0,1 mg/Kg del producto. Una dosis 500 veces inferior a la que demostró ser segura en la prueba con monos. Al año siguiente TeGenero entró en bancarrota.
BIA 10-2474 (2016)	Bial	5 voluntarios experimentaron graves lesiones cerebrales en la 1ª fase del ensayo clínico después de recibir 50 mg del producto. Uno de ellos entró en coma y falleció. Previamente, las pruebas con animales llevaron a establecer una dosis segura de 100 mg.

La complejidad de estos métodos para las medidas in vitro aumenta evidentemente desde la utilización de cultivos celulares empleando diferentes linajes de células actualmente comercializadas y ampliamente utilizadas en los ensayos de toxicidad hasta los sistemas microfisiológicos que incorporan múltiples órganos. No obstante, esta complejidad se requiere si se pretende mimetizar el comportamiento biológico de un ser vivo, muy complejo en sí mismo. El uso, por ejemplo, de hepatocitos humanos cultivados en monocapas se ha utilizado ampliamente en la evaluación de la toxicidad de medicamentos, sin embargo, se ha podido observar que la ausencia de otras células inflamatorias hepáticas, como las células estrelladas hepáticas y las células de kupffer en los cultivos, hace que determinados efectos nocivos pasen desapercibidos.

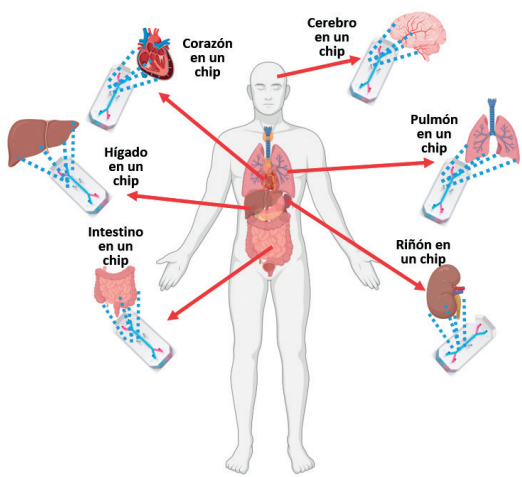
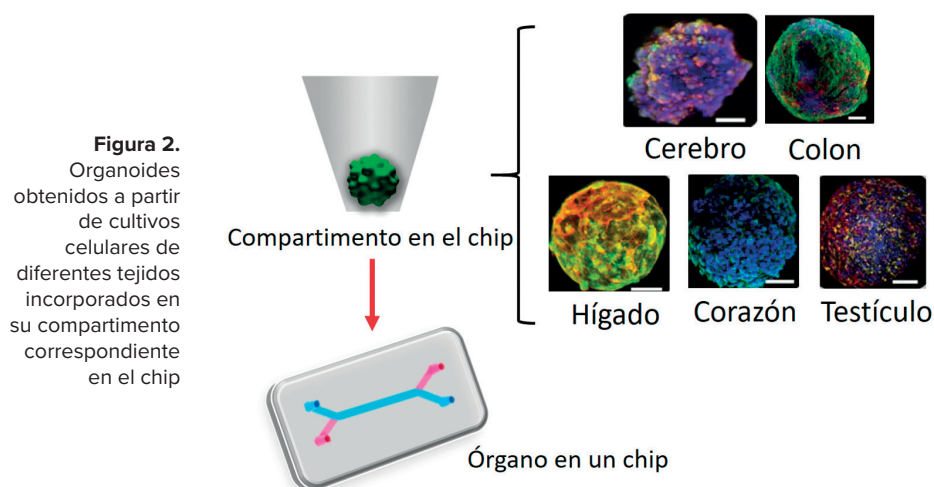


Figura2.
Órgano en un chip

Created in BioRender.com bio

Como ejemplos de este tipo de dispositivos podemos disponer de un pulmón “respirando” en un chip o un corazón en el que es posible medir sus latidos, células tumorales metastásicas circulantes en redes de vasos sanguíneos en chips, o un intestino con actividad peristáltica y microorganismos que fluyen a modo de microbiota intestinal en el interior del chip, y por supuesto un chip multiórgano con esferoides hepáticos y pancreáticos cultivados dinámicamente que mantienen la homeostasis de la glucosa (Van den Berg et al., 2019).

Para ello se puede disponer bien de células primarias obtenidas a partir de pacientes sanos o enfermos, líneas celulares comercialmente disponibles o bien células madre pluripotentes inducidas (iPS) (Low et al., 2021). La posibilidad de reprogramar células maduras intactas introduciendo simplemente en ellas sólo unos pocos genes para convertirse en células inmaduras con la capacidad de desarrollar distintos tejidos del organismo, como descubrió en el año 2006 el científico japonés Shinya Yamanaka, permite conseguir cualquier órgano con el tratamiento adecuado (Fig 2).



Estos dispositivos son, por tanto, personalizables utilizando muestras como biopsias, residuos de tejidos de una cirugía y muestras de sangre, orina o heces de pacientes.

Los organoides se incorporan en sus correspondientes compartimentos que se interconectarán bien en el mismo dispositivo o en módulos diferentes, dependiendo de la configuración seleccionada (Figs. 3 y 4)

La sustitución de los animales de experimentación, no es el único motivo de la búsqueda de métodos alternativos para el análisis de la toxicología de com-

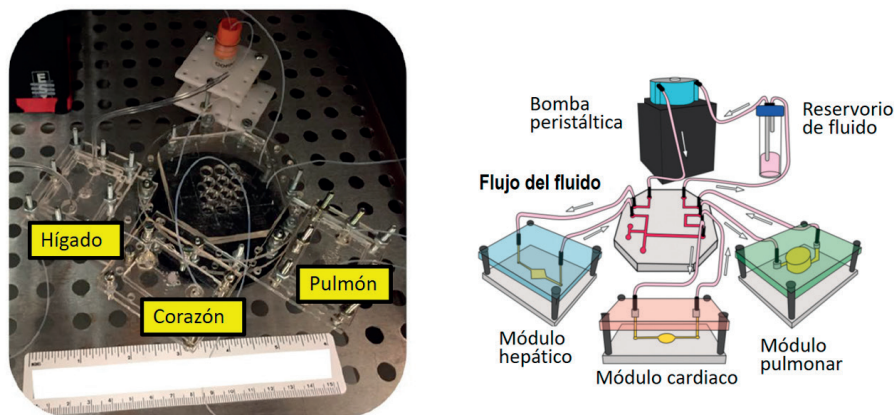


Figura 3. Modelo de dispositivo multiórgano que incorpora células de corazón, hígado y pulmón, compartiendo el mismo fluido a través de canales conectados e impulsado mediante una bomba peristáltica. Adaptado de Skardal et al., 2017, publicado bajo licencia CC BY 4.0 <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>.

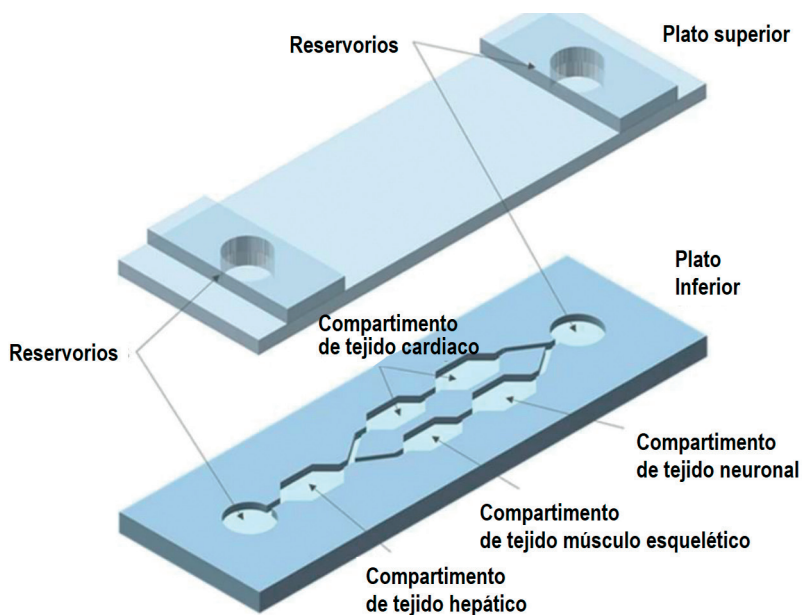


Figura 4. Representación esquemática de una plataforma microfluídica que incorpora diferentes compartimentos celulares. El Sistema consta de dos soportes que separan los cultivos celulares. El volumen del fluido es de aproximadamente 4 mL y el tamaño de compartimentos celulares oscila entre $35.8 \times 18.4 \times 0.3$ y $29.8 \times 15.4 \times 0.7$ mm. Las dimensiones de los canales de conexión son: $5.7 \times 1 \times 0.3$ mm. Adaptado de Oleaga et al., 2016, publicado bajo licencia CC BY.4.0 <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>.

Figura 5. Órganos en un chip con diferentes modelos de enfermedad hepática con relación al fenotipo de hígado sano.

DESARROLLO DE MODELOS DE ENFERMEDAD IN VITRO



Figura 6. Aproximación a modelos farmacocinéticos utilizando sistemas microfisiológicos (MPS), para estudios de metabolismo y desarrollo de medicamentos de uso humano.

ESTUDIOS DE FARMACOCINÉTICA

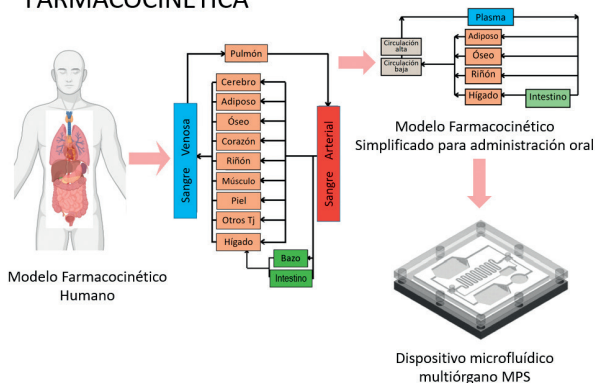
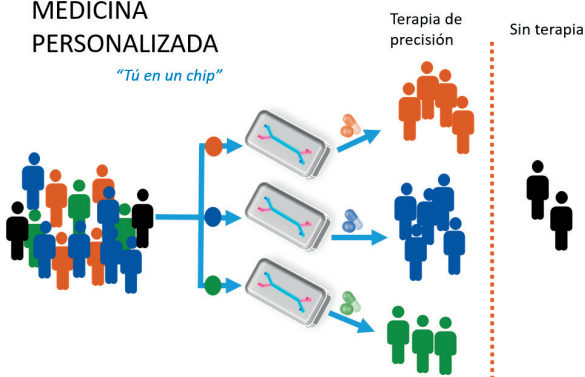


Figura 7. Aproximación a un esquema de selección de un medicamento específico para un paciente específico considerando sus características personales y prediciendo su eficacia a partir de los resultados obtenidos con los chips.

MEDICINA PERSONALIZADA

"Tú en un chip"



puestos. Es bien conocido que una de las causas principales por la que aproximadamente un tercio de los medicamentos ensayados en las diferentes etapas de su desarrollo no alcancen la aprobación para su comercialización, se debe a la toxicidad observada en los animales de experimentación (Waring et al, 2015). Aunque los ensayos con animales utilizados tienen un carácter predictivo elevado, cada vez se observan más evidencias de que la respuesta toxicológica que experimentan los seres humanos con respecto a la observada en los animales no sigue una correlación directa. Incluso, entre los propios seres humanos existe también una variabilidad interindividual. Son varias las causas que justifican esta falta de correlación, si bien una de las principales es la dificultad de las especies animales de reproducir el metabolismo humano con exactitud (Lin, 1995, Seok et al, 2013).

Por ello, las pruebas de

toxicidad y eficacia utilizando células y órganos humanos posibilitaría una mayor aproximación al comportamiento in vivo, al recibir las sustancias objeto de estudio. Así, estos dispositivos permiten el desarrollo de modelos de enfermedad "ex vivo" utilizando modelos con el fenotipo correspondiente al estadio de la misma (Fig. 5), llevar a cabo también estudios de farmacocinética y metabolismo de medicamentos (Fig. 6), así como Chip de sistemas microfisiológicos (MPS) como soporte a la medicina de precisión (Fig.7)

El daño hepático inducido por fármacos (DILI) es una de las principales causas que motivan frecuentemente la retirada de medicamentos del mercado. La evaluación temprana del riesgo de lesión hepática producida por medicamentos es una parte esencial del desarrollo de fármacos, convirtiéndolo en un reto importante antes de abordar los ensayos clínicos. Enmarcados dentro de los estudios de seguridad preclínica, la posibilidad de utilizar “hígados en chip” permitiría un cribado previo para la selección de sustancias candidatas seguras (Fig. 8).

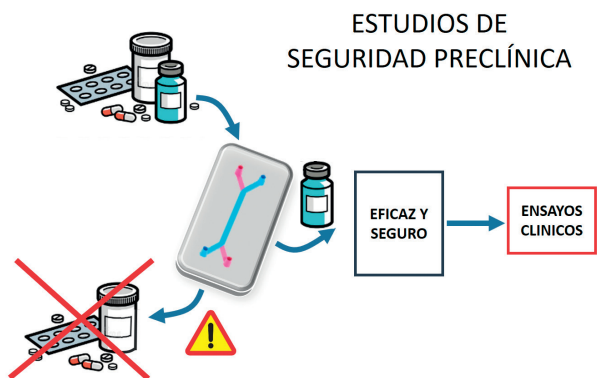


Figura 8. Cribado de sustancias candidatas a medicamentos en virtud de su toxicidad para evitar que se ensayen en seres humanos en los ensayos clínicos.

Hígado en un chip preparado a partir de hepatocitos y el conjunto de células hepáticas que forman su estructura

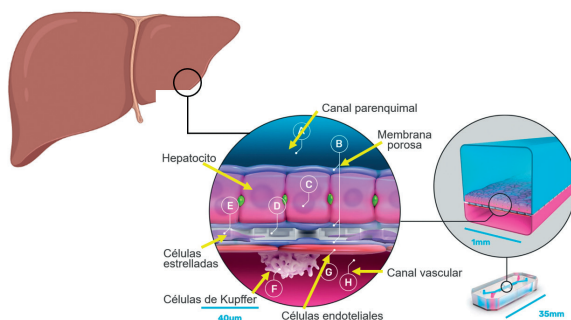


Figura 9. Adaptado de Ewart et al., 2022, publicado bajo licencia CC BY 4.0

Un estudio realizado con 27 fármacos empleando 870 órganos en chip fabricados a partir de células hepáticas (Ewart et al. 2022) Fig. 9, demostró que el hígado en un chip discriminaba, en un ensayo ciego, la toxicidad de fármacos hepatotóxicos y no tóxicos conocidos, con una sensibilidad del 87% y una especificidad del 100%. Justificó, también, que su utilización de manera extendida podría generar más de 3.000 millones de dólares anuales de beneficio para la industria farmacéutica a través del incremento en los análisis de cribado de moléculas pequeñas utilizadas como fármacos y el aumento de la productividad de I+D asociado a este tipo de moléculas, asegurando, de acuerdo a su análisis económico, que este aumento en la productividad podría incrementarse potencialmente hasta los 24.000 millones de dólares anuales simplemente extendiéndolo a otros órganos y desarrollando los 4 modelos de chips que permitan medir toxicidades sobre los sistemas cardiovascular, neurológico, inmunológico, y gastrointestinal con los que se asocian la mayor parte de los fracasos por toxicidad observados en el desarrollo de fármacos.

Los autores de este trabajo sugieren que el hígado en un chip podría incorporarse en el esquema del desarrollo de medicamentos durante la fase de optimización de las moléculas seleccionadas, reconocidas a partir de cabezas de serie

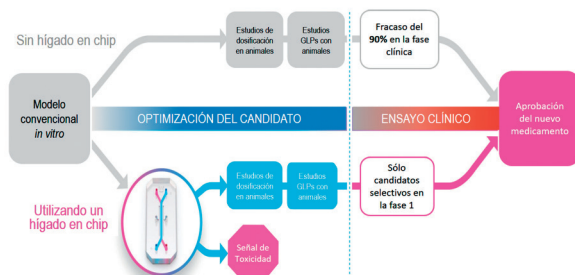
de fármacos, para la identificación del candidato final que sería ensayado en las pruebas clínicas con suficientes garantías de éxito y seguridad, así como también detectar las señales de que un determinado compuesto producirá toxicidad

hepática en humanos con una elevada probabilidad (87%). Estos resultados permitirían a los científicos responsables del ensayo descartar estos compuestos evitando el uso de animales para el cálculo del intervalo de dosis utilizable y la dosis máxima tolerable (Fig. 10).

Figura 10.

Adaptado de Ewart et al., 2022, publicado bajo licencia CC BY 4.0 <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>.

Cribado toxicológico empleando un hígado en chip



Indican también, que la falta de falsos positivos observada en el estudio con la utilización de los chips, refuerza su potencial para su empleo en las fases iniciales del descubrimiento de fármacos donde se desechan moléculas candidatas que podrían convertirse en posibles medicamentos y que son consideradas tóxicas en la etapa pre-clínica utilizando modelos de predicción de la toxicidad menos robustos.

Aunque la tecnología de los órganos en chip se ha desarrollado rápidamente, su implementación a nivel general permanece aún lejana. Uno de los principales escollos de su utilización radica en la falta de materiales compatibles. En la actualidad el polidimetilsiloxano (PDMS) es el material más empleado, pero presenta la desventaja de que las capas de película resultantes son de mayor espesor que la correspondiente a la morfología in vivo. Además, se requieren materiales cuya absorción de pequeñas moléculas de diferente naturaleza este contralada, ya que éstas pueden influir en la toxicidad y en la interpretación de los resultados. Por tanto, es necesario identificar materiales alternativos adecuados y biocompatibles.

Los costes de fabricación y la aplicación experimental son todavía relativamente elevados, lo que invita a buscar componentes de bajo coste, fáciles de eliminar y por qué no reciclables. El volumen de los soportes, los componentes del sistema y el tamaño de los conectores deberían reducirse para uso general. La parte “sensórica” con biosensores adecuados debe desarrollarse de manera que la recogida de muestras no interfiera en la concentración de los metabolitos resultantes y su especificidad no se vea comprometida por la presencia de diferentes moléculas, especialmente en los dispositivos que incorporan múltiples órganos. Son también importantes los aspectos relacionados con el desarrollo alométrico de los tejidos empleados, la conservación del ambiente estéril necesario al conectar los diferentes módulos y el empleo de un medio común compatible entre los diferentes órganos.

FUENTES BIBLIOGRÁFICAS

<https://crueltyfreeinternational.org/>

<https://animalwellnessaction.org/>

Attarwala, H. TGN1412: From Discovery to Disaster. *J Young Pharm.* 2010 Jul;2(3):332-6. <https://doi.org/10.4103/0975-1483.66810>.

Ewart, L., Apostolou, A., Briggs, S.A. et al. Performance assessment and economic analysis of a human Liver-Chip for predictive toxicology. *Commun Med* 2, 154 (2022). <https://doi.org/10.1038/s43856-022-00209-1>

Kaur, R., Sidhu, P., Singh, S. What failed BIA 10-2474 Phase I clinical trial? Global speculations and recommendations for future Phase I trials. *J Pharmacol Pharmacother.* 2016 Jul-Sep;7(3):120-6. <https://doi.org/10.4103/0976-500X.189661>

Kimura, H., Sakai, Y., Fujii, T. Organ/body-on-a-chip based on microfluidic technology for drug discovery. *Drug Metabolism and Pharmacokinetics.* (2018); 33(1):43-48. <https://doi.org/10.1016/j.dmpk.2017.11.003>.

Lin, J.H. Species similarities and differences in pharmacokinetics. *Drug Metab Dispos.* (1995);23(10):1008-21.

Low, LA., Mummery C., Berridge, BR., Austin, CP., Tagle, DA. Organs-on-chips: into the next decade. *Nat Rev Drug Discov.* 2021;20(5):345-361. <https://doi.org/10.1038/s41573-020-0079-3>

Oleaga, C., Bernabini, C., Smith, A. et al. Multi-Organ toxicity demonstration in a functional human in vitro system composed of four organs. *Sci Rep.* (2016); 6, 20030. <https://doi.org/10.1038/srep20030>.

Seok, J. Warren, S. Cuenca, A. G. Mindrinos, M. N. Baker, H.V. et al. Genomic responses in mouse models poorly mimic human inflammatory diseases. *Proc. Natl Acad. Sci. USA.* (2013); 110, 3507–3512. <https://doi.org/10.1073/pnas.1222878110>

Sibbald B. Rofecoxib (Vioxx) voluntarily withdrawn from market. *CMAJ.* 2004 Oct 26;171(9):1027-8. <https://doi.org/10.1503/cmaj.1041606>

Skardal, A., Murphy, S.V., Devarasetty, M. et al. Multi-tissue interactions in an integrated three-tissue organ-on-a-chip platform. *Sci Rep* (2017); 7, 8837. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-08879-x>.

Van den Berg, A., Mummery, C. L., Passiera, R., van der Meer, A.D. Personalised organs-on-chips: functional testing for precision medicine. *Lab Chip* (2019); 19, 198. <https://doi.org/10.1039/c8lc00827b>.

Waring, M. J. Arrowsmith, J. Leach, A. R. et al. An analysis of the attrition of drug candidates from four major pharmaceutical companies. *Nat. Rev. Drug Discov.* (2015); 14, 475. <https://doi.org/10.1038/nrd4609>.

JOSÉ MANUEL SÁNCHEZ RON

José Manuel Sánchez Ron es Licenciado en Ciencias Físicas por la Universidad Complutense de Madrid (1971) y Doctor (Ph.D.) en Física por la Universidad de Londres (1978). Entre 1994 y agosto de 2019 fue Catedrático de Historia de la Ciencia en el Departamento de Física Teórica de la Universidad Autónoma de Madrid (UAM), donde antes (entre 1983 y 1994) fue Profesor Titular de Física Teórica en la misma Universidad. En la actualidad es Catedrático emérito de Historia de la Ciencia en la UAM. Desde 2003 es miembro de la Real Academia Española, donde ocupa el sillón “G”; es, asimismo, académico correspondiente (2006) de la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, y académico numerario de la Académie Internationale d’Histoire des Sciences de París. En 2001 recibió el Premio José Ortega y Gasset de Ensayo y Humanidades de la Villa de Madrid por su libro *El Siglo de la Ciencia* (Taurus 2000); en 2004 el Prisma de la Casa de las Ciencias de La Coruña al mejor artículo de divulgación científica publicado en 2003 por su artículo “¿Para qué la ciencia?”, publicado en *El País*; en 2011 el Premio Internacional de Ensayo Jovellanos por su libro *La Nueva Ilustración: Ciencia, tecnología y humanidades en un mundo interdisciplinar* (Ediciones Nobel, 2011). En 2015 recibió el Premio Nacional de Literatura en su modalidad de Ensayo, por *El mundo después de la revolución. La física de la segunda mitad del siglo XX* (Pasado & Presente 2014) y en 2016 el Premio Julián Marías a la carrera científica en Humanidades de la Comunidad de Madrid.

**CIENCIA, TECNOLOGÍA, ECONOMÍA Y PODER:
DE LA MÁQUINA DE VAPOR AL CHIP**

JOSÉ MANUEL SÁNCHEZ RON
Real Academia Española

Han sido muchos los descubrimientos e innovaciones que han hecho que nuestra especie, *Homo sapiens*, haya llegado a ser lo que es, y a vivir como ha vivido en el pasado y vive en el presente. Condición previa ha sido su estructura anatómico-fisiológica que nos permite emitir una rica variedad de sonidos articulados, que condujeron al habla organizada, a los lenguajes, a los idiomas, para los que fue imprescindible otra característica, ésta relativa al cerebro: la capacidad de producir sistemas *simbólicos*; es decir, ser capaces de asociar objetos, personas, hechos o ideas a palabras que los representan. Con la aparición del habla la capacidad de transmitir información a distancia creció enormemente, aunque al limitarse inicialmente al ámbito oral, la distancia que podía cubrir y su permanencia eran en principio limitadas. La invención de la escritura, decisiva en la historia de la humanidad, solucionó este problema. Solo con la tradición oral, la transmisión de conocimiento y experiencias habría sido efímera, desapareciendo al cabo de unas pocas, a lo sumo, generaciones, salvo algunas excepcionales, los casos, por ejemplo, de la *Iliada* y la *Odisea*.

Por supuesto, las ideas provenientes de la filosofía, el derecho o la política han influido poderosamente en los sistemas sociales que se han construido, o intentado construir a lo largo de la historia, pero sin la ciencia y la tecnología la historia del camino que ha recorrido nuestra especie habría sido muy diferente, sin duda peor; no es imposible pensar que no hubiera sobrevivido en la dura lucha con otras especies. De hecho, no es posible separar la historia de *Homo sapiens* de la ciencia y la tecnología, especialmente de la primera –la tecnología es tan antigua como la humanidad– pues otras especies mantienen algunas relaciones con la tecnología aunque los instrumentos que producen sean muy, para los estándares humanos, primitivos. La mencionada capacidad de pensamiento simbólico de nuestra especie, hizo casi inevitable que condujera a la aparición de la ciencia. De hecho, los orígenes de astronomía, matemática y medicina se pierden en la noche del tiempo de la aparición de nuestra especie. Más remoto, por supuesto, es el origen de las habilidades tecnológicas, que, insisto, compartimos con otras especies y en particular con otros homínidos con los que estamos emparentados.

La tecnología fue primero, pero sin la ciencia el desarrollo tecnológico jamás habría llegado a las cotas que, especialmente a partir del siglo XIX, alcanzó. La ciencia entendida como –es la definición que aparece en el *Diccionario de la lengua española* (DLE) de la RAE y ASALE– “conjunto de conocimientos obtenidos mediante la observación y el razonamiento, sistemáticamente estructurados y de los que se deducen principios y leyes generales con capacidad predictiva y comprobables experimentalmente”. En ocasiones, es preciso añadir, son ideas surgidas de la mente del científico las que preceden a la observación, como, por ejemplo, la predicción de la antimateria contenida en la ecuación relativista del electrón, obtenida por Paul Dirac en 1928.

CIENCIA VERSUS TECNOLOGÍA

Con el avance de la ciencia, una vez que empezaron a proliferar las leyes generales (las primeras fueron las tres leyes del movimiento planetario que Johannes Kepler formuló en la primera década del siglo XVII), se difundió entre muchos —a la cabeza los físicos teóricos— la idea de que primero está la ciencia “pura” que cuando se aplica se convierte en tecnología, y por consiguiente en riqueza, social, económica, militar. Se trata de una idea que sin duda se ejemplifica en numerosos casos; uno, al que volveré, es la invención del transistor, un hijo de la física cuántica. Pero en el fondo se trata de una idea limitada, que oscurece la rica y profunda relación entre ciencia y tecnología. ¿Qué fue primero, la termodinámica, la rama de la ciencia que estudia los intercambios de calor y de, en general, energía, o la máquina de vapor, un artefacto técnico, fruto de los trabajos de artesanos y técnicos? Sabemos bien que primero aparecieron las máquinas de vapor, y que una vez que éstas existieron, algunos, como Sadi Carnot, antiguo alumno de la École Polytechnique de París, y autor de una pequeña memoria titulada *Réflexions sur la puissance motrice du feu et sur les machines propres à développer cette puissance* (1824), se plantearon descubrir los principios (científicos) que subyacían en su funcionamiento con el propósito de mejorarlas.

Especialmente a partir de la segunda mitad del siglo XX, aumentó la relación entre ciencia y tecnología; hace tiempo que se introdujo el término “tecnociencia” para expresar esa relación. “Tecnociencia” que el DLE define como “Conjunto de conocimientos y prácticas surgidos de la interacción entre técnica y ciencia”.

Es cierto que podemos hablar de ámbitos científicos en los que dominan los universos conceptuales más abstractos; formulaciones como el modelo estándar en la física de altas energías, la controvertida (sobre todo por lo lejos que está todavía de poder ser sometida a comprobaciones experimentales) teoría de las supercuerdas, o formulaciones matemáticas como los grupos de Lie. Todo esto, la vigencia y vigor de la ciencia “pura”, o mejor, “básica”, es indudable, pero no lo es menos que las fronteras entre ciencia y tecnología son cada vez más, y en más lugares, difusas. Pensemos, por ejemplo, en ese dominio científico como es la biología molecular: ¿es posible distinguir siempre entre avances llevados a cabo en *ingeniería* genética, *biotecnología* o biología molecular? Distinguir, en el sentido de poder manifestar: “este hallazgo vale sólo para ingeniería genética, pero no nos dice nada realmente fundamental para la biología”. La respuesta es que no, que no es factible establecer semejantes distinciones.

Y no se olvide la dependencia que el avance en disciplinas como la física, la química o la biología depende con frecuencia de disponer de instrumentación de última generación. Ejemplos evidentes en este sentido son los telescopios espaciales “Hubble” y “James Webb”, los grandes aceleradores de partículas elementales, a la cabeza el Large Hadron Collider (LHC) del CERN, o incluso las máquinas que permitieron secuenciar el genoma humano.

LA MÁQUINA DE VAPOR Y LA REVOLUCIÓN INDUSTRIAL

Si se desea entender plenamente el camino que ha llevado a *Homo sapiens* a su situación actual, es imprescindible tener en cuenta a la ciencia y la tecnología, repasar la historia de ambas y las relaciones que han mantenido y mantienen entre ellas, así como sus efectos en la economía y el poder que han proporcionado. Comenzaré por la máquina de vapor, cuyo desarrollo condujo a la Revolución Industrial, iniciada a finales del siglo XVIII pero que marcó sobre todo el XIX.

La introducción de la máquina de vapor modificó sustancialmente aspectos centrales de la idea y práctica de la producción industrial, lo que a su vez afectó a las condiciones laborales y estatus de los trabajadores. Pocos entendieron mejor esa relación de causa-efecto que el urbanista, sociólogo, filósofo de la tecnología y crítico literario estadounidense Lewis Mumford, como muestra la esclarecedora cita de uno de sus libros, *Technics and Civilization* (1934):

“La máquina de vapor tendió hacia el monopolio y la concentración. La energía del viento y del agua era libre, pero el carbón era caro y la máquina de vapor misma era una inversión costosa; así también lo eran las máquinas que producía. El funcionamiento durante veinticuatro horas, que caracteriza la mina y el alto horno, llegó ahora a otras industrias que hasta entonces habían respetado las limitaciones del día y de la noche. Impulsados por el deseo de ganar todo el dinero posible sobre sus inversiones, los fabricantes de textiles alargaron el día de trabajo; mientras en Inglaterra en el siglo XV había sido de catorce o quince horas en pleno verano, con dos horas y media a tres horas para el recreo y las comidas, en las nuevas ciudades fabriles fue a menudo de dieciséis horas durante todo el año, con sólo una hora para comer. Funcionando con vapor, alumbradas por gas, las nuevas fábricas podían trabajar durante veinticuatro horas. ¿Por qué no el trabajador? La máquina de vapor marcaba el paso”.

El “trabajador” decía, y en este punto es obligado referirse a los luditas, los artesanos ingleses que en la década de 1810 se opusieron a la introducción de las nuevas máquinas de hilar que destruían sus empleos. Ahora bien, y como a menudo sucede en la historia, lo que sucedió se debe contemplar desde una perspectiva más amplia. Fue la demanda creciente a partir de las últimas décadas del siglo XVIII y primeras del XIX de productos que utilizaban algodón, en especial ropa, a lo que hay que sumar el igualmente aumento de la exportación, lo que favoreció la introducción de maquinarias automatizadas. En cualquier caso, lo que sucedió es que los nuevos sistemas de producción industrial se impusieron y los luditas pasaron a formar parte de los cajones en los que se guardan episodios que terminan siendo considerados anecdóticos. Los trabajadores que perdieron sus empleos tuvieron que buscar nuevas ocupaciones, porque, y esta es, en mi opinión, una máxima universal, “la tecnología siempre gana”. Una lección de la historia que es preciso tener en cuenta en una época como la actual en la que la asociación de la robótica y la Inteligencia Artificial hace previsible —ya está sucediendo— que muchos empleos tradicionales desaparezcan.

REVOLUCIONES TECNOCIENTÍFICAS DEL SIGLO XIX

Ya propiamente del siglo XIX fueron dos avances científicos que tuvieron profundas consecuencias en el desarrollo industrial. Cronológicamente, el primero se produjo en la química orgánica, que despegó gracias sobre todo a los trabajos que llevó a cabo en la Universidad de Giessen el alemán Justus Liebig, cuando en 1831 desarrolló un aparato para analizar compuestos orgánicos, que era lo suficientemente sencillo como para poder ser utilizado de manera sistemática por sus estudiantes para analizar compuestos químicos orgánicos. La introducción de esta técnica condujo a la creación de nuevas y exitosas industrias. En 1827, por ejemplo, Heinrich E. Merck, uno de los alumnos de Liebig, fundó en Darmstadt la Chemische Fabrik E. Merck para la producción en gran escala de productos farmacéuticos. El éxito de la empresa hizo que se extendiese, y uno de los lugares en los que se introdujo fue en Estados Unidos, de la mano de un miembro de la familia, George Merck, que se trasladó a Nueva York en 1891 estableciendo allí una tienda que suministraba productos, a, en especial, los farmacéuticos de la ciudad y sus alrededores. En 1897, sus ventas alcanzaron el millón de dólares y contaba con un edificio propio de seis plantas, aunque pronto se instaló en New Jersey. Estrictamente se trataba de una nueva compañía, denominada Merck & Co., de la que la Merck alemana poseía una parte de las acciones, situación que se mantuvo hasta 1917 cuando al entrar Estados Unidos en la Primera Guerra Mundial el gobierno norteamericano se apropió de las acciones que poseía la firma de Darmstadt. Con la ayuda de inversores de Nueva York, George Merck compró esas acciones al gobierno, comenzando así la historia independiente de la Merck & Co. estadounidense que, con el paso del tiempo, se convertiría en uno de los gigantes del mundo farmacéutico, la multinacional Merck, Sharp & Dohme.

En 1856, Ludwig Baist, otro de los antiguos estudiantes de Liebig, estableció la Chemische Fabrik Griesheim para la producción de fertilizantes artificiales, y otro más de sus pupilos que se convirtió en un industrial importante fue Karl Clemm, quien cofundó en 1865 junto con su hermano August y el industrial Friedrich Engelhorn una industria dedicada inicialmente a la producción de anilina, aunque más tarde ampliaron su campo de interés a la sosa y el ácido sulfúrico, necesarios para la producción de los tintes, y a los fertilizantes artificiales. La compañía tomó el nombre de Badische Anilin-und Soda-Fabrik (BASF); tras diversos avatares y su refundación en 1952, hoy es una de las grandes de la industria química mundial.

En la historia de la industria química, la producción de tintes en Alemania figura como la primera que alcanzó proporciones gigantescas. Sólo en exportación se pasó de 58 millones de marcos en 1890, a 138 en 1902; 209 en 1912. En 1904, Estados Unidos recibía el 20,4 por ciento de esas exportaciones, Gran Bretaña el 15,5, Rusia el 10, la misma cantidad que el Imperio Austro-húngaro. En 1887, la industria química alemana contaba con 4.235 fábricas, en las que trabajaban 82.211 obreros. En 1896, el número de fábricas había ascendido a

6.144, y los empleados a 120.400, mientras que en 1912 las cifras eran, respectivamente, de 9.147 y 250.000, además de 50.000 químicos y auxiliares técnicos. En este último año, 1912, la mitad de la producción exportada (que superaba a la llevada a cabo por el resto del mundo: en 1913 más del 80 por ciento de la producción mundial de tintes era alemana) correspondía a colorantes, perfumes y medicamentos, siendo los primeros, los tintes, el principal producto exportado, por un valor total de 1.300 millones de marcos.

Como vemos en alguno de los anteriores ejemplos, la industria farmacéutica se vio afectada, para mejor. Los avances en la química, y la alianza de ésta con la industria, alejaron a los farmacéuticos del control sobre las materias primas y la fabricación, en gran escala, de los medicamentos, que pasó a manos, primero de drogueros y después de fabricantes químicos. Y aquellas naciones que se resistieron a ese cambio fueron las peor paradas, tanto desde el punto de vista económico e industrial como desde el científico.

El otro ejemplo paradigmático de lo que la ciencia europea dio a la industria en aquella época, y la consiguiente riqueza que generó, se encuentra en el campo de la electricidad. En los anales de la historia de la ciencia y la tecnología figura con letras doradas la gran síntesis —década de 1860— que representó la teoría electromagnética, a la que está asociado, por encima de todos, el nombre de James Clerk Maxwell, sin olvidar a otros como Michael Faraday o William Thomson (lord Kelvin). Fue gracias a la ciencia del electromagnetismo que Werner Siemens (1816-1892) pudo construir un imperio industrial en el campo de la electrotecnia, que abrió un nuevo mundo en la iluminación, las comunicaciones, así como en algunos procesos industriales. Ahora bien, en el caso de la electricidad y el magnetismo, no es posible dejar de lado la relación ciencia-tecnología. Así, aunque el descubrimiento (científico) que Hans Christian Oersted llevó a cabo en 1820 (demostró que la variación de electricidad afecta al magnetismo) había dado pie a imaginar la posibilidad (práctica) de la telegrafía, una vez abierta la puerta de aquella posibilidad, inventores, científicos y emprendedores decidieron, juntos o por separado, esforzarse para lograr hacer realidad la idea. A lo largo de ese camino, la ciencia siguió aportando beneficios a la, como nombraríamos hoy, tecnología o tecnociencia, pero también aquella se benefició de ésta. Se ha argumentado, en este sentido, que la noción de *campo* de Faraday, esencial para el desarrollo de la teoría electromagnética, es deudora del descubrimiento del retraso que sufría una corriente eléctrica cuando era transmitida a lo largo de grandes distancias de cables telegráficos. También está el caso de William Thomson, uno de los gigantes de la ciencia decimonónica. El futuro lord Kelvin comenzó a interesarse en la telegrafía por cable hacia 1853-1854, y continuó ocupándose de ella durante el resto de su vida, una actividad que no sólo le reportó dinero y fama social, sino que también tuvo un profundo efecto en los problemas científicos de que se ocupó, e incluso, como han señalado algunos de sus biógrafos, en la manera en que concibió los fenómenos electromagnéticos. Entre 1854 y 1867, dobló su

tamaño la red telegráfica británica. El precio de un mensaje se redujo a la mitad y el volumen de comunicaciones se cuadruplicó. En consecuencia, aumentó también la oferta de trabajo en la producción o utilización de conductores eléctricos, aislantes, baterías e instrumental telegráfico, lo que a su vez creó una fuerte demanda de instrucción en telegrafía e, indirectamente, en electricidad.

El nuevo mundo tecnocientífico que abrió el electromagnetismo abarca innumerables dominios, desde la iluminación en casas y ciudades, a la telegrafía sin hilos, esto es, la radio, en cuya creación, consecuencia implícita de la electrodinámica de Maxwell y de los experimentos de Heinrich Hertz en 1888, sobresalió el italiano Guglielmo Marconi, quien obtuvo su primera patente en 1896. El año siguiente, se trasladó a Inglaterra con el fin de que sus proyectos prosperasen; en 1898 lograba conectar la bahía de Alum, en la isla de Wight, con Bournemouth, separados por una distancia de algo más de 20 kilómetros; en 1899 establecía la primera conexión internacional entre Folkestone y Boulogne (52 km.), transmitiendo los primeros mensajes en abril; en 1900 formaba la Marconi International Marine Communications Company. Sin embargo, aún quedaba un largo camino que explorar para que aquella telegrafía “sin hilos” prosperase. Cuando en 1919 se desarrollaron tubos productores de ondas electromagnéticas que permitían producir con cierta facilidad ondas cortas y los radioaficionados descubrieron que podían comunicarse, aunque de manera caótica e impredecible, de un lado a otro del Atlántico —lo que ocurría era que las ondas rebotaban en la atmósfera, volviendo a la tierra, después de salvar el Atlántico—, Marconi y sus ingenieros estudiaron el fenómeno y pudieron desarrollar transmisores con los que dirigir sus señales de precisión. En 1924, era capaz de enviar desde Europa a Australia, América del Norte y del Sur, Sudáfrica y la India señales electromagnéticas de onda corta prácticamente durante las 24 horas del día. Y era mucho más barato y rápido que la telegrafía con cables. Comenzaba un nuevo mundo. Bueno, en realidad este ya se había iniciado antes, cuando en 1866 se completó y comenzó a funcionar el primer cable telegráfico submarino que unió Europa con Norteamérica, logro en el que fue fundamental la aportación científico-técnica de William Thomson para que se pudiesen superar todas las dificultades científico-tecnológicas.

El impacto popular de la instalación del cable submarino trasatlántico fue enorme. Al fin y al cabo se había conseguido reducir una larga travesía marítima a unos breves instantes, en lo que a comunicaciones se refiere. En ninguna otra época de la historia de la humanidad, incluida la presente, a pesar de toda la tecnología moderna, se produjo una ruptura *cualitativa* de orden parecido, aunque no podemos olvidar que inicialmente los cambios no se extendieron a todas las clases sociales: en 1866, el precio de un telegrama trasatlántico era exorbitante, uno de veinte palabras costaba alrededor de cien dólares, el equivalente al salario de cuatro meses de un trabajador industrial. Fueron sobre todo políticos, militares y hombres de negocios quienes tuvieron que aprender

nuevos modos de comportamiento y adentrarse en un mundo científico-tecnológico con el que podían ampliar sus negocios. De hecho, la introducción de redes telegráficas en un ámbito mundial tuvo consecuencias importantes en lo que se refiere a las relaciones internacionales. Como los mensajes telegráficos a grandes distancias tenían que atravesar fronteras entre naciones (un hecho éste que algunos países utilizaron para espiar a otras), hubo que establecer convenios de cooperación internacional. Así, en la década de 1850 y principios de la de 1860 se firmaron diversos acuerdos y tratados bilaterales y en 1865 se fundó la Unión Telegráfica Internacional. Marconi, por cierto, obtuvo el Premio Nobel de Física en 1909.

CIENCIA, POLÍTICOS Y MILITARES

Del siglo XX se puede decir mucho en lo referente a lo que la ciencia y tecnología que se produjo en él significó tanto para la economía como para los poderes político y militar. En lo científico, se produjeron tres grandes revoluciones, profundamente disruptivas, la de la relatividad (especial y general), la de la física cuántica y la del ADN. De éstas, ha sido la cuántica la que más ha influido en la industria, economía y poder político y militar. Los ejemplos en este sentido son numerosos, entre ellos lo que significó el descubrimiento de la fisión del uranio en diciembre de 1938 y su aplicación a la fabricación de las bombas atómicas que se lanzaron en agosto de 1945 sobre Hiroshima y Nagasaki (ésta utilizó plutonio), y cómo la disponibilidad de armamento nuclear influyó en la Guerra Fría, en la que también desempeñaron papeles destacados otros elementos dependientes de la ciencia y tecnología, como satélites (el primero, 1957, el soviético Sputnik) y misiles intercontinentales. En cualquier discusión que se ocupe de la relación de ciencia y tecnología con “el poder” es obligado prestar atención a lo que los poderes militar y político han desempeñado en el desarrollo de la ciencia.

Un ejemplo significativo de la conexión entre ciencia y militares se encuentra en el desarrollo del máser (*microwave amplification by stimulated emission of radiation*) y del láser (*light amplification by stimulated emission of radiation*), las radiaciones que aunque en esencia obedecen a principios (emisión estimulada) introducidos por Einstein en 1916, no fueron descubiertas, por Charles Townes, hasta la década de los cincuenta (1951 y 1958, respectivamente).

Tras permanecer en los Bell Laboratories entre 1939 y 1947, en donde se ocupó, entre otros temas, de la investigación relacionada con el radar, Townes pasó al Radiation Laboratory de Columbia University, creado durante la guerra para desarrollar radares. Al igual que otras instituciones, este laboratorio continuó recibiendo dinero de los militares después de la guerra, dedicando el 80 por 100 de su presupuesto al desarrollo de tubos que generasen microondas. En la primavera de 1950, Townes organizó en Columbia para la Oficina de Investigación Naval un comité asesor para considerar nuevas formas de generar

microondas de menos de un centímetro. Tras un año de considerar la cuestión, se le ocurrió un nuevo enfoque antes de asistir a una de las sesiones de su comité: era la idea de máser. Cuando logró, en 1954 y en colaboración con uno de sus doctorandos, James P. Gordon, hacer realidad operacional esa idea, resultó que las oscilaciones producidas por el máser se caracterizaban no sólo por su alta frecuencia y potencia, sino también por su uniformidad. Las aplicaciones (militares, civiles y científicas) de la nueva radiación para aumentar la sensibilidad de detectores de señales electromagnéticas (radio y microondas) atrajeron un gran interés inmediatamente. Y al máser siguió el láser, un máser, podríamos decir basado en longitudes de onda más pequeñas.

A partir de la década de los sesenta, el Gobierno Federal desplegó un amplísimo apoyo a la investigación relacionada con las fuentes de luz coherente. La idea era utilizar esta luz intensa y altamente direccional como instrumento de detección, guía o localización, e, incluso, como arma; deseos todos éstos que en el futuro la Iniciativa de Defensa Estratégica propuesta por el presidente Ronald Reagan mantendría en grado superlativo. Tanto la Marina como la Fuerza Aérea o el Ejército de Tierra esperaban poder incorporar el láser a sus respectivos arsenales; ello llevaba, obviamente, a que se necesitasen láseres de energías, longitudes de onda, eficiencias y tamaños muy dispares, lo que, a su vez, significó que se tuviese que prestar gran atención a disciplinas como la ciencia de los materiales, espectroscopía o química y física del estado sólido.

Con respecto al poder político un ejemplo magnífico implica al físico Andréi Sájarov, padre de la bomba de hidrógeno soviética, y a Nikita Jrushchov, presidente del Consejo de Ministros de la Unión Soviética entre 1958 y 1964.

En 1961, dentro del contexto de las políticas que seguían las potencias nucleares, Jrushchov decidió que la manera más eficaz de enfrentarse a Estados Unidos era poner fin a la moratoria informal que estaban siguiendo entonces la Unión Soviética, Estados Unidos y Gran Bretaña, que no habían detonado ninguna bomba desde 1959. Una vez tomada la decisión, en julio Jrushchov organizó en el Kremlin una “Reunión de líderes del Partido y del Gobierno con científicos atómicos” para informar sobre el particular. He aquí como describió Sájarov en sus memorias lo que sucedió entonces:

“Jrushchov anunció inmediatamente su decisión: las pruebas nucleares se reanudarían en el otoño, ya que la situación internacional se había deteriorado y porque la URSS se había quedado rezagada respecto a EE.UU. en pruebas [...]. Tendríamos que reforzar nuestro poderío nuclear y demostrar a los ‘imperialistas’ lo que éramos capaces de hacer.

Tal como podía esperarse, no se habían hecho planes para debatir la decisión. Después de la alocución de Jrushchov, las personas clave se entendía que hablarían durante unos diez o quince minutos cada una respecto a sus trabajos en curso. Cuando me llegó el turno, hacia la mitad de la lista de ponentes, hablé rápidamente de nuestra investigación en temas de armamento y luego expuse mi opinión de que poco teníamos que ganar con la reanudación de las pruebas en este punto de nuestro programa. Mi observación se anotó, pero no provocó respuesta inmediata”.

Al volver a su asiento, Sájarov escribió una nota para Jrushchov en la que señalaba que estaba ‘convencido de que la reanudación de las pruebas en estos momentos solamente beneficiaría a EE.UU. Espoleados por el éxito de nuestros *Sputniks* pueden utilizar las pruebas para mejorar sus ingenios. Nos han subestimado en tiempos pasados, aunque nuestro programa ha estado basado en una evaluación realista de la situación... ¿No piensa usted que unas nuevas pruebas pondrían en serio peligro las negociaciones de prohibición de las pruebas, la causa del desarme y la paz mundial?’.

“Jrushchov”, continuaba explicando Sajarov, “leyó la nota, miró hacia mí y la guardó en el bolsillo interior de su chaqueta, después de doblarla en cuatro. Cuando se acabaron las ponencias, se levantó, dio las gracias a los oradores y luego añadió: ‘Hagamos todos una pausa. En nombre del Presidium del Comité Central, invito a todos nuestros huéspedes a cenar con nosotros dentro de una hora’”.

Después de que todos los participantes en la cena ocuparan sus puestos, Jrushchov, continuaba explicando Sajarov, “tomó una copa de vino como si fuera a proponer un brindis. Pero antes al contrario, volvió a dejar la copa sobre la mesa y empezó a hablar de mi nota: reposadamente al principio, pero luego con una creciente agitación, enrojecido el semblante y tensa la voz”:

“Aquí tengo una nota que he recibido del académico Sájarov [en la que] me dice que no necesitamos las pruebas. [...] ¿Puede demostrar realmente Sájarov que con menos pruebas hemos conseguido más información valiosa que los norteamericanos? ¿Son ellos más torpes que nosotros? No hay forma de que yo conozca todos los puntos clave. Pero el número de pruebas es lo que más importa. ¿Cómo se pueden desarrollar nuevas tecnologías son pruebas?

Pero Sajarov va todavía más lejos. Ha ido más allá de la ciencia para penetrar en la política. Y aquí está metiendo las narices donde no le corresponde. Se puede ser un buen científico sin entender ni una palabra de política...

Deje la política para nosotros, que somos especialistas en ella. Haga usted sus bombas y pruébelas y no interferiremos en su trabajo; antes al contrario, le ayudaremos!”.

LA REVOLUCIÓN DEL MICROCHIP

Pero por mucho que la física nuclear haya condicionado la política mundial y las relaciones internacionales, nada comparable con las consecuencias de la invención del transistor, a la que ya aludí. Es significativo que fuese en los laboratorios Bell —estrictamente los Bell Telephone Laboratories, creados en 1925 como una compañía subsidiaria de ATT (American Telephone and Telegraph) y Western Electric; en la actualidad son propiedad de la empresa finlandesa Nokia— donde tres físicos, John Bardeen, Walter Brattain y William Shockley, inventasen en diciembre de 1947, el transistor, un elemento absolutamente revolucionario, que transformó la industria de las comunicaciones (los tres recibieron el Premio Nobel de Física de 1957).

Las posibilidades que abría el transistor y materiales semiconductores como el silicio y el germanio, no tardaron demasiado en hacerse evidentes. Para compañías emprendedoras, por supuesto, pero también para científicos, que, inmersos en un mundo en el que el dinero y los negocios representaban un valor no sólo material sino cultural también, se decidieron -- algunos al menos -- a traspasar las fronteras de la academia de una manera mucho más radical que cuando aceptaron trabajar para laboratorios industriales como podían ser los Bell: esto es, convirtiéndose ellos mismos en empresarios. Tal fue el origen del célebre Silicon Valley, situado al sudeste de San Francisco, en cuya constitución desempeñaron papeles centrales Frederick Terman, catedrático y director de la Escuela de Ingeniería de la cercana Universidad de Stanford, y William Shockley, que abandonó los laboratorios Bell de New Jersey, buscando horizontes más lucrativos (en 1955 fundó, en lo que entonces era simplemente los alrededores de la bahía de San Francisco, su propia compañía, el “Shockley Semiconductor Laboratory”). Como es bien sabido, el crecimiento, durante las décadas de 1960 y 1970, de Silicon Valley fue extraordinario, pero no es explorar ese crecimiento lo que me interesa aquí, sino resaltar el papel simbólico y ejemplificador que desempeñó en la configuración de una “nueva alianza” entre ciencia e industria, entre academia, industria y negocios.

Con ser importante, la introducción del transistor sólo fue el primer paso. El siguiente surgió como consecuencia del deseo de evitar tener que producir por separado los componentes de un circuito y tener luego que ensamblarlos, tarea en la que desempeñaron un papel fundamental Jack Kilby y Robert Noyce.

En mayo de 1958, Kilby entró a trabajar en Texas Instruments, una compañía que hasta entonces se había centrado sobre todo en la geofísica, pero que en 1952 decidió que el futuro estaba en los transistores y en la miniaturización de componentes electrónicos. Pronto Kilby se preguntó qué pasaría si en lugar de tomar diferentes componentes y luego unirlos para formar un circuito, éste estuviese hecho del mismo material. El 6 de febrero de 1959, Kilby solicitó varias patentes en las que se indicaba que era posible fabricar *circuitos integrados*, esto es, *microchips* o, simplemente, *chips*. Cuando terminaba la década de 1950, se habían desarrollado técnicas con las que se formaban (se *crecían*) láminas de diversos materiales sobre el semiconductor de silicio con los que se conseguía que los transistores dejaran de ser componentes específicos que había que conectar a un circuito.

El otro gran protagonista de esta historia es Noyce que trabajaba para Fairchild Semiconductor, empresa de la que él mismo había sido uno de sus fundadores en 1957. En 1961, Fairchild Semiconductor producía comercialmente los primeros chips. Siete años después, Noyce dejó Fairchild para fundar Intel, junto a Gordon Moore, donde lideró con Ted Hoff la invención del microprocesador, que generó la Revolución Microelectrónica. Moore, por cierto, enunció la cono-

cida “ley de Moore” en un artículo publicado el 19 de abril de 1965 en la revista *Electronics* y en la que predecía que cada 18-24 meses, el número de transistores de un circuito integrado se duplicaría, predicción que, básicamente, resultó cierta hasta, al menos, comienzos del siglo XXI. En 2014, Apple puso 2.000 millones de transistores en su iPhone 6.

Es imposible, no obstante, seguir la complicada historia de la digitalización del mundo, si se me permite esta expresión, por otra parte no desconocida en sus rasgos principales por el conjunto de la sociedad. Únicamente me detendré en unos pocos detalles.

El primero es que aunque continúa estando presente, el papel de la ciencia “básica” del tipo de la que guio en última instancia la invención del transistor, su importancia ha disminuido significativamente. Fundamentales y extremadamente costosos y complejos son los procesos de *fabricación* de microchips, cada vez más minúsculos. Sólo unas pocas empresas mantienen posiciones fijas de liderazgo en este ámbito, a la cabeza Taiwan Semiconductor Manufacturing Company, más conocida por sus siglas, TSMC, que domina el mercado de producción de elementos imprescindibles para las tecnologías digitales, hasta el punto de que su posición clave e insustituible por el momento, representa un potencial factor geoestratégico de riesgo de primer orden dada el hecho de que China no ha renunciado a integrarla a su territorio continental.

Y no se olvide el papel de otro elemento cada vez más destacado en el mundo digital: el de las aplicaciones informáticas (apps). Ni, claro, de internet, sobre la que se podría hablar mucho, entre otros detalles el exagerado, aunque sin duda importante, papel que se ha asignado en su creación al CERN y a Tim Berners-Lee, que en 1989 creó la www, dejando de lado las aportaciones anteriores del DARPA (Defense Advanced Research Project Agency) donde se desarrolló ARPANET, el sistema de comunicación entre computadoras cuyos primeros nodos se establecieron a finales de la década de 1960 en centros de las universidades de Stanford, California en Santa Barbara, y Utah. En 1972, funcionaban 24 nodos, uno de ellos en el Pentágono, en 1973, 36 conectados vía telefónica, más uno en Hawai que utilizaba conexión vía satélite. Protocolos como TCP (Transmission Control Protocol) e IP (Internet Protocol) creados entonces continúan utilizándose en la actualidad en internet.

El universo digital es un mundo empresarial extremadamente cambiante. A comienzos de 2000, por ejemplo, Intel, una de las compañías más valiosas del mundo, fue superada por Apple, cuyo nuevo ecosistema de móviles no se basaba en los chips de Intel. En 2010, Facebook, fundada en 2004, valía la mitad que Intel, pero enseguida pasó a ser varias veces más valiosa. Un mundo con un número de usuarios inmenso. En 1972 había únicamente aproximadamente 150.000 ordenadores en el mundo, con la llegada de los ordenadores personales (PCs) en 1993 ya eran 152 millones, en 1998, 337 millones, en 2003, 616

millones. En 2010, el país con mayor número de usuarios de computadores personales era Estados Unidos, con 223 millones, le seguían: Japón (69 millones), China (53), Alemania (45), Reino Unido (36), Francia (35) y Corea del Sur (26). Y aunque no han desaparecido, los PC están siendo sustituidos por generaciones de teléfonos móviles inteligentes, o *smartphones*, y por dispositivos tipo tableta. En 1990, existían unos 12,4 millones de teléfonos móviles (el 0,25 por 100 de la población mundial de entonces), mientras que en 2002 el número era de 1.174 millones (el 19 por 100 de la población), en 2010, 4.000 millones y en 2021 6.000 millones, en torno al 67 por 100 de la población mundial.

No obstante mantener una notable presencia en el mundo de la innovación digital, la influencia, como conjunto, de Silicon Valley ha disminuido. Los grandes nombres de esas tecnologías son gigantes como Amazon, Google, Huawei, en los que, por cierto, se aprecian características que reflejan los diferentes Estados en los que tienen sus bases. Así, Huawei, cuyo presupuesto anual en I+D (Investigación y Desarrollo) es de, aproximadamente, 15.000 millones de dólares, cuenta con el apoyo del gobierno chino. Un estudio del *Wall Street Journal* (25 de diciembre de 2019) sobre los subsidios que el gobierno chino ha proporcionado a Huawei los sitúa en 75.000 millones de dólares, en forma de terrenos, créditos bancarios y deducciones de impuestos. Y es que la Guerra Fría, renovada ahora entre Estados Unidos y Rusia, ha dejado paso a otra más importante para el presente y futuro como es una guerra tecnológico-comercial entre Estados Unidos y China, nación ésta que cada vez más ocupa más puestos de liderazgo en la creación de nuevo conocimiento científico. Esa guerra abarca diferentes frentes, pero uno de ellos, particularmente importante es el que se puede denominar la “Guerra del microchip”, una contienda en la que Europa tiene escasa presencia, ni siquiera el en otro tiempo poderoso Japón y sí Estados Unidos y China.

Como vemos, ciencia, tecnología, industria, economía, política y sociedad se reúnen en una amalgama de complejo entendimiento, pero que ha sido y sobre todo es, la mano que mece la cuna de la historia de la humanidad.

FRANCISCO JAVIER PUERTO SARMIENTO

Profesor Emérito de la UCM desde el 1/8/2020. Profesor Titular de Historia de la Ciencia en la UCM. Ha sido Catedrático de Historia de la Farmacia y director del Museo de la Farmacia Hispana en la Universidad Complutense de Madrid. Ha dirigido trece programas de investigación y participado en otros doce sobre Historia de la Ciencia, la Farmacia española y el medicamento. Es académico numerario de la Real Academia de la Historia de la que es vice tesorero y de la Real Academia Nacional de Farmacia. También es numerario de la Académie Internationale d'Histoire de la Pharmacie y correspondiente de la Société suisse d'histoire de la pharmacie, de la Institución Fernán González y de la Academia Nacional de Ciencias Farmacéuticas de México.

LA HISTORIA DE LA CIENCIA Y DE LA TECNOLOGÍA EN ESPAÑA.

FRANCISCO JAVIER PUERTO SARMIENTO

Real Academia de la Historia

LA CIENCIA Y LAS HUMANIDADES

El interés sobre la Historia de la Ciencia y la Tecnología comenzó, en nuestro suelo, mediante la discusión intelectual y política sobre el tema, desde la llamada “polémica de la Ciencia española”, en donde los argumentos, falsamente históricos, se emplearon como armas arrojadas en una palestra ideológica y política. Los historiadores de la Ciencia hemos contribuido, con nuestro trabajo científico, a acabar con esa falsa discusión, de forma tal que, en la actualidad, se conocen las diversas etapas de la Historia de la Ciencia y de la Tecnología en España, aunque ni nuestros trabajos, ni nuestras opiniones hayan encontrado una resonancia excesiva, ni entre el público en general, ni entre los especialistas¹.

Definir la Ciencia es una tarea ardua a la que se dedican, entre otros, legiones de estudiosos agrupados en el área de Filosofía de la Ciencia.

Cuando las cosas se complican demasiado, me gusta acudir a las definiciones del *Diccionario* de la Real Academia Española. Para ella, Ciencia es el *conocimiento cierto de las cosas por sus principios y causas* y la Tecnología (el envés de la Ciencia) como *el conjunto de teoría y técnicas que permiten el aprovechamiento práctico del conocimiento científico*.

Desde este acertado punto de vista, la Ciencia y la Tecnología formarían parte de la Cultura. Sus practicantes y los humanistas no se diferenciarían sino en el objeto de sus investigaciones, pues el método científico sería idéntico para ambos, aunque los primeros necesiten de mayores medios técnicos.

Así son las cosas en realidad. Las mal llamadas *dos culturas*² se originaron a partir de la peor llamada *revolución científica*, un concepto que empezó a popularizarse a partir de la obra de Thomas S. Kuhn³ y la de Alexander Koyré⁴, para señalar la ruptura epistemológica que supuso la irrupción de la Ciencia moderna, pero que en absoluto fue revolucionario, porque duró al menos tres siglos.

Hasta que empezó durante el Renacimiento, el lenguaje en que se expresaban literatos, pensadores y científicos era el mismo.

¹ Todavía en 1977 se escribían artículos, aparentemente sobre Historia, desde el absoluto desconocimiento de la misma. Faustino Cordón, “Estado actual de la Ciencia Española”, en VV.AA. *La cultura bajo el franquismo*, Barcelona: Ediciones de bolsillo, 1977, pp. 263-282.

² C.P. Snow, *Las dos culturas y la revolución científica*, Buenos Aires: Sur, 1963.

³ Thomas S. Kuhn, *La estructura de las revoluciones científicas*, México: Fondo de Cultura Económica, 1977.

⁴ Alexander Koyré, *La révolution astronomique: Copernic, Kepler, Borelli*, Paris: Hermann, 1974.

A nadie se le ocurre mantener que Homero o Hesíodo no fueron grandes poetas porque en la *Ilíada*, la *Odisea*, la *Teogonía* o *Los trabajos y los días*, daban cuenta de los conocimientos científicos de su tiempo⁵. Los críticos post-ilustrados motejaron de poetas de segunda fila a Arato de Solos (310-240 a.C.) o Nicandro de Colofón (s. II a.C.) autores de textos de tema astrológico o farmacológico, pero no se atrevieron a criticar la obra de Hipócrates de Cos⁶ (430-375 a.C.), un médico, pero también un pensador, un filósofo natural de la talla de Aristóteles o de Platón, que ayudó a consolidar el pensamiento griego y, dentro de él, el concepto de naturaleza con una calidad poética de primera magnitud. -Entendida la afirmación pese a lo difícil que resulta determinar su obra original dentro del amplísimo *Corpus Hippocraticum*-. Tampoco se atrevieron a descalificar a Tito Lucrecio Caro (94-50 a. C.) capaz de escribir su monumental *De rerum natura*, inspirado en la filosofía epicúrea y en la “fisiología” atomista⁷.

Durante el Renacimiento⁸ y el Barroco, con la obra de Copérnico (1473-1543)⁹ o Galileo (1564-1642)¹⁰, la de Vesalio (1514-64)¹¹, Servet (1509-1553)¹² y la de Harvey (1578-1657)¹³, la Ciencia empieza a adentrarse en territorios no evidentes, para los cuales hacen falta medios especiales de observación. Se comienza a mirar a lo infinitamente alejado, mediante el telescopio; lo infinitamente pequeño, a través del microscopio o lo vedado por la creencia o los prejuicios, como el interior del cuerpo humano. Empiezan a ser necesarios nuevos instrumentos y un nuevo vocabulario astronómico, anatómico o fisiológico y los humanistas tradicionales –los amantes de las letras clásicas- o nuevos, al estilo de Terencio (+ 159 a.C.) –*hombre soy y nada humano puede serme ajeno*- encuentran tremendas dificultades para admitir que todo, hasta su forma de pensar, sentir o creer, está siendo afectado por la nueva visión del macrocosmos y del microcosmos aportada por la Ciencia.

⁵ Agustín Albarracín Teulón, *Homero y la Medicina*, Madrid: Prensa Española, 1970.

⁶ Pedro Laín Entralgo, *La Medicina Hipocrática*, Madrid: Alianza, 1987.

⁷ Javier Puerto; Daniel Pacheco, “Sobre Ciencia y Literatura”, *El Ateneo*, 1997, nº VIII, pp. 19-35.

⁸ Javier Puerto, *El Renacimiento, la superación de la tradición*, Madrid: Akal, 1991: *Historia de la Ciencia y de la Técnica*, dirigida por Javier Puerto, nº 0.

⁹ Nicolás Copérnico, *De revolutionibus orbium coelestium*, Nuremberg: Johann Petreius, 1543. Juan Luis García Hourcade, *Copérnico y Kepler: la rebelión de los astrónomos*, Madrid: Nivola, 2000.

¹⁰ Galileo Galilei, *Sidereus Nuncius*, Venecia: Thomam Baglionum, 1610.

¹¹ Andrea Vesalio, *De humani corporis fabrica libri septem*, Basilea: Ioannis Oporini, 1543.

¹² Miguel Servet, *Christianismo Restituito*, Vienne del Delfinado: Baltasar Arnoullet; Guillermo Guérout, 1553

¹³ William Harvey, *Exercitatio anatómica de circulatione sanguinis*, Cambridge: Rogeri Danielis, 1649; Agustín Albarracín Teulón, *Harvey: el movimiento del corazón y la sangre*, Madrid: Nivola, 2001.

Durante la Ilustración tiene lugar la crisis definitiva, no tanto por las quiebras paradigmáticas producidas por Linneo (1707-1778) o Lavoisier (1743-1794) en el ámbito de la Botánica o la Química, como por la postura tomada por los enciclopedistas, D'Alambert (1717-1783), Diderot (1713-1784) o el filósofo Voltaire (1694-1778), a favor de la Ciencia, utilizada como instrumento de lucha contra la creencia y capaz de constituirse en un elemento político de primera magnitud, primero para los déspotas ilustrados y luego para los burgueses inconformistas, partidarios de la Revolución Francesa¹⁴.

En este contexto ilustrado, además, empezamos a encontrarnos con una preocupación explícita por la nomenclatura científica. Linneo establece la suya, binaria, para clasificar a los animales y las plantas. Lavoisier, Guyton de Morveau (1737-1816), Bertholet (1748-1822) y Fourcroy (1755-1809), la de la nueva Química: nuevos conocimientos científicos, nuevos hechos, nuevas palabras.

Lavoisier lo explica con claridad meridiana:

Las lenguas no sólo tienen por objeto, como se cree comúnmente, expresar por signos las ideas y las imágenes; sino que además son verdaderos métodos analíticos, con cuyo auxilio procedemos de lo conocido a lo desconocido...

Más adelante escribe:

Si las lenguas son los verdaderos instrumentos que se han formado los hombres para facilitar las operaciones de su espíritu, importa que estos instrumentos sean los mejores que fuere posible, y esto es trabajar a la verdad sobre el adelantamiento de las ciencias, más que procurar su perfección¹⁵.

Durante el siglo XIX se sigue profundizando en el conocimiento de la naturaleza y se accede a territorios hasta entonces vedados. La Microbiología permite dominar algunas enfermedades. La Farmacología convierte la terapéutica de empírica en pre-científica, y el positivismo de Augusto Comte (1798-1857)¹⁶ establece el espejismo neoplatónico de un avance indefinido, permanentemente favorable al desarrollo humano, y la prioridad de la Ciencia sobre cualquier otro modo de conocimiento. Esta ingenua prepotencia, la dificultad del acceso a unos conocimientos que se habían convertido en casi herméticos, provistos de unas metodologías complejas, con un lenguaje propio, junto a la defensa de su particular ámbito de trabajo, llevó a algunos intelectuales e historiadores alemanes a proclamar incompatibles sus estudios con los históricos científicos, con lo cual las añejas dificultades de la interpretación científica, con respecto a cualquier aspecto no material de la existencia, se vieron ahora reforzadas

¹⁴ A.D.White, *Historia de la lucha entre la Ciencia y la Teología*, Madrid: La España Moderna, s.f.

¹⁵ *Método de la Nueva Nomenclatura Química. Propuesto por MM. de Morveau, Lavoisier, Bertholet y de Fourcroy, a la Academia de Ciencias de París, y traducido al castellano por Don Pedro Gutiérrez Bueno*, Madrid: Antonio de Sancha, 1788. Citas de las páginas 4 y 5 de la Memoria de Lavoisier.

¹⁶ José Ferrater Mora, *Diccionario de Filosofía*, Madrid: Alianza, 1981, Tomo I, pp. 551-554.

por un principio de rechazo de los humanistas hacia su actividad, empezándose a conformar las *dos culturas* como enemigas temporalmente irreconciliables.

Pese a ello, si la Ilustración se conoce como la época de la razón, el siglo XX ha sido el de la Ciencia. Su extraordinario poder¹⁷ ha repercutido en todos los ámbitos de la vida y el conocimiento humano, también en las humanidades, al menos en sus métodos, sin que, por el contrario, el influjo de las humanidades, reflejo de alguno de los aspectos más íntimos del ser humano -no mesurables ni comprensibles desde un criterio meramente científico-, haya tenido la misma influencia en la Ciencia. Por eso, pese a la dificultad de abarcar, en la actualidad, los ámbitos científicos y humanísticos en profundidad, y menos desde un ámbito especializado, es imprescindible la mutua interconexión e influencia si se quiere aspirar a una comprensión global de nuestra contemporaneidad y a la utilidad, humana y social, de ambas “culturas” o, lo que es lo mismo: la Ciencia no ha dejado de ser nunca una parte de la Cultura, aunque el hecho no esté muy claro, ni para los científicos, ni para los humanistas.

LA CIENCIA EN ESPAÑA

Sobre nuestro suelo se han asentado imperios: las colonias griegas, el romano, el árabe y nosotros mismos hemos organizado uno en Hispanoamérica, las islas Filipinas y el norte de África, además de en diversos territorios europeos.

Un imperio, aparte de consideraciones de tipo ideológico, ético, político y cultural, es imposible conquistarlo sin la tecnología más adelantada de su momento histórico y esta no es, ni más ni menos, que el reverso aplicado de la Ciencia. Es así por razones obvias. Unos de los primeros en adaptar las novedades técnicas son los ejércitos

Muy a menudo se habla de los avances científicos en el conocimiento de la naturaleza, de la aplicación de los mismos a la salud, de las mejoras en las condiciones de vida y es verdad, pero se suele olvidar su aplicación prioritaria e inmediata a la guerra. A menudo las naciones imperialistas poseen una cultura superior a la de las conquistadas, aunque esa circunstancia no es imprescindible y en muchas ocasiones se puede discutir; lo que siempre tienen es una clara superioridad tecnológica, que luego puede conjugarse o no en términos de superioridad cultural o de avances en la civilización de los territorios ocupados. En España, por tanto, desde muy antiguo ha existido un componente científico-cultural importantísimo, relegado en parte por otros aspectos de nuestra cultura: los literarios, los ideológicos y los religiosos. La Historia de la

¹⁷ José Manuel Sánchez Ron, *El poder de la ciencia: historia social, política y económica de la ciencia (siglos XIX y XX)*, Barcelona: Crítica, 2007.

Ciencia española es como el filo de un cuchillo de sierra, con grandes montañas y tremendas depresiones, tan enormes que, muy frecuentemente, no han dejado la perspectiva suficiente para ver el pasado.

Por otra parte, la institucionalización de los estudios científicos ha sido errática hasta fechas muy recientes. Sólo han estado dotados de unas enseñanzas universitarias constantes los médicos, estudiosos de algunas disciplinas científicas, pero las demás materias, desde el Renacimiento hasta mediados del siglo XIX, se han impartido en instituciones de vida variable, creadas al margen de la universidad.

La introducción de los estudios científicos puros en la Facultad de Filosofía y de los aplicados en la Facultad de Farmacia se hizo en 1845 mediante la aplicación del llamado “Plan Pidal”.

José Rodríguez Carracido (1856-1928), farmacéutico, químico, catedrático de Química Biológica y Rector de la Universidad Central, opina que se hizo mediante unos planes de estudio similares a los de las disciplinas clásicas de letras. Según su pensamiento, krausista y positivista, la premura e improvisación la justifica por la necesidad de destruir *el triste legado de las tendencias reaccionarias*. La ausencia de reforma de los mismos, a lo largo de la segunda mitad del siglo XIX la considera, por el contrario, un desatino. Debido al mismo se llegó a un *nuevo escolasticismo*, causado por la falta de laboratorios y medios adecuados para el ejercicio de la investigación científica. A consecuencia de esta triste situación, los científicos se vieron abocados a disquisiciones filosóficas de *añeja esterilidad*¹⁸.

En otras palabras, admite el aspecto cultural de la Ciencia, su incidencia en la Historia del pensamiento, pero se queja de la falta de dotación de medios para practicar su metodología propia, lo cual llevaría a practicar una *Ciencia de estufa*¹⁹.

No conviene caer en el error de que todos los intelectuales españoles, a principios del siglo XX, compartían el amor a la Ciencia y la confianza en su efecto regenerador de la vida intelectual y social, con los miembros de la Institución Libre de Enseñanza²⁰.

¹⁸ José Rodríguez Carracido, *Estado de las ciencias experimentales en España*. Discurso leído en la solemne inauguración del curso académico 1887-1888 en la Universidad Central de Madrid, Madrid: Tipografía de Gregorio Estrada, 1887 y *Confesiones, lo que hice, lo que debí hacer y lo que no hice*, manuscrito conservado en la Biblioteca Central de la UCM.

¹⁹ José Rodríguez Carracido, *Estudios histórico-críticos de la Ciencia Española*, Madrid: establecimiento tipográfico de Fontanet, 1897; 2ª ed. Madrid: imprenta de “Alrededor del Mundo”, 1917. De la segunda edición existe un facsímil, Barcelona: Alta Fulla/Mundo Científico, 1988.

²⁰ Para conocer las relaciones entre los institucionistas y la Ciencia, se pueden consultar: Antonio Jiménez-Landi Martínez, *La Institución Libre de Enseñanza y su ambiente*, Madrid: editorial

Desde la perspectiva humanista algunos, muy destacados, dieron una visión negativa de la Ciencia, como algo ajeno al auténtico espíritu español.

Miguel de Unamuno (1864-1936) en su *Vida de Don Quijote y Sancho*, escribe:

Hoy no se nos aparecen ya como molinos, sino como locomotoras, automóviles, telégrafos con hilos o sin ellos, ametralladoras y herramientas de ovariectomía, pero conspiran al mismo daño. El miedo y sólo el miedo sanchopancesco nos inspira el culto y veneración al vapor y a la electricidad; el miedo y sólo el miedo sanchopancesco nos hace caer de hinojos ante los desaforados gigantes de la mecánica y la química implorando de ellos misericordia. Y al fin rendirá el género humano su espíritu agotado de cansancio y de hastío al pie de una colosal fábrica de elixir de la larga vida. Y el molido Don Quijote vivirá, porque buscó la salud dentro de sí y se atrevió a arremeter contra los molinos²¹...

Ese espíritu, beligerante con la Ciencia, está presente también en un poeta, León Felipe (1889-1960) quien, por sus estudios de Farmacia y por su profesión de boticario errante por diversos lugares del territorio español, la conocía bien. Escribe:

Los botánicos que tratan a las flores como la policía a los seres humanos, / aquellos que las pinchan, las retratan, las clasifican, las bautizan en latín, /.../ Mire usted que llamar en latín a las flores. / Las llaman en latín, pero las flores no hacen caso. / Ni siquiera vuelven la cabeza. / Si se las llama, en cambio, / como las llama el viento... / bailan orgullosas en el tallo²².

Incluso en la actualidad, si se me permite el salto temporal, nuestro compañero, amigo y gran poeta, Luis Alberto de Cuenca, escribe:

No venimos del mono. Lo siento señor Darwin. /.../ Hobbes lo tuvo muy claro, y uno, que es un fanático / del cine de licántropos lo ratifica ahora: / homo homini lupus²³.

En donde se percibe más el juego poético desesperanzado que la inquina a la Ciencia, pero en cualquier caso ni León Felipe, científico, ni de Cuenca, humanistas, poetas ambos, parecen deslumbrados por el fenómeno, ni son partidarios del mismo como, por ejemplo, el ilustrado Manuel José Quintana (1772-1857).

A este desapego interno, tan visible en los intelectuales del siglo XIX y XX, se unen una serie de teorías degeneracionistas propagadas durante el siglo XVIII. Se iniciaron con el estudio de *Los caracteres nacionales* (1748), de David Hume (1711-1776), según el cual los factores geográfico-naturales incidirían en la pobre-

Complutense, 1996; Luis Alfredo Baratas Díaz, *Introducción y desarrollo de la biología experimental en España entre 1868 y 1936: la evolución del pensamiento universitario español*, Madrid: Tesis doctoral dirigida por Joaquín Fernández Pérez, 1991.

²¹ Miguel de Unamuno, *Vida de Don Quijote y Sancho*, Madrid: Cátedra, 2004, p. 199.

²² Alejandro Finisterre: *León Felipe, poeta farmacéutico*, Madrid: Ateneo Científico, Literario y Artístico de Madrid, 1991, p. 13.

²³ Luis Alberto de Cuenca: "Homo homini lupus" en *Sin miedo ni esperanza*, Madrid: Visor, 2002, p. 23.

za y miseria de los pueblos septentrionales o en la indolencia de los meridionales. Aunque precisó mucho sus afirmaciones primerizas, otros autores anteriores como Jean Bodin (1529-1596) y Torcuato Tasso (1544-1776), o contemporáneos como Voltaire, habían especulado con la relación entre clima y capacidad de los habitantes de un territorio, en muchas ocasiones para poner en entredicho la labor de los españoles en América²⁴.

De esta manera, una corriente con visos de querer ser científica, fortalecedora de la leyenda negra con respecto a la labor colonizadora española, consciente o inconscientemente, coincidía con planteamientos intelectuales hispanos, que muchas veces han asimilado los puntos de vista legendarios, contrarios a sus intereses, con una prontitud y aplicación propia de un sentimiento de inferioridad íntimamente consolidado o con el alineamiento con la premisas lúdicas de Leopold Von Sacher-Masoch.

CONDICIONES PARA EJERCER LA CIENCIA EN ESPAÑA

Así las cosas, no es de extrañar que la primera tarea autoimpuesta por las figuras más representativas de la docencia y de la investigación científica, durante el siglo XIX y principios del XX, fuese convencer a sus conciudadanos, y a las autoridades, de la posibilidad de realizar esas tareas por los españoles y de las peculiaridades de su ejercicio profesional.

Lo hace Rodríguez Carracido, en el mencionado discurso de apertura de la Universidad Central, y Santiago Ramón y Cajal (1852-1934) en su disertación para el ingreso en la Real Academia de Ciencias²⁵.

El primero, con argumentos utilizados por el segundo diez años después, denuncia nuestra total dependencia científica del exterior. Considera a la investigación el elemento regenerador de la Universidad y de la Ciencia realizada en ella. No encuentra elementos geográficos o basados en la idiosincrasia nacional, tan cacareados por los autores europeos, que impidan el ejercicio científico a los connacionales, aunque acepta otros, socio-políticos, impulsores de la juventud hacia el cultivo de carreras más propicias para obtener una rápida consideración económico-social, como la abogacía o el ejercicio de la política. Años después, Santiago Ramón y Cajal incide en la ausencia de elementos en nuestro clima, dieta o aptitud espiritual, merced a los cuales se imposibilite la

²⁴ Este tema puede verse, en profundidad en: Antonello Gerbi, *La Disputa del Nuevo Mundo. Historia de una polémica (1750-1900)*. México: Fondo de Cultura Económica, 1960.

²⁵ Santiago Ramón Y Cajal, *Fundamentos racionales y condiciones técnicas de la investigación biológica*. Discurso de ingreso en la Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales leído el 5 de diciembre de 1897. Madrid: imprenta de L. Aguado, 1897. Se empieza a publicar posteriormente como: *Los tónicos de la voluntad. Reglas y consejos sobre investigación biológica*, Madrid: imprenta de Fortanet, 1899.

práctica de la investigación científica. José Casares Gil (1866-1961), explica cómo el secreto de los alemanes está en la constancia del trabajo, “en acudir al laboratorio por la mañana y por las tardes”²⁶.

Carracido sitúa en 1900 el punto de inflexión hacia una manera más sensata de practicar la Ciencia. Cita como hechos importantes la creación, por Decreto de 18 de abril, del Ministerio de Instrucción Pública y la obra legislativa de Antonio García Alix (1852-1911), resumida en tres aspectos fundamentales:

1. Por primera vez, la Universidad Central obtuvo un exiguo presupuesto para la adquisición de material científico y se permitió el cobro de una pequeña tasa a los alumnos por la realización de prácticas.
2. A los opositores a cátedra se les exigió la presentación de un trabajo de investigación científica.
3. Se instauró una mayor severidad en la lectura y aprobación de las tesis doctorales.

En 1906, Ramón y Cajal hace patente, mediante la obtención del Premio Nobel, la posibilidad de que un español, con pocos medios materiales, mucho trabajo e ingenio, emule las glorias internacionales de los literatos y artistas.

Esta primera defensa de la investigación científica universitaria en España, amplía la polémica sobre la necesidad de la Ciencia para la industrialización y se superpone con la de la Ciencia española.

CIENCIA E INDUSTRIA EN ESPAÑA

La llamada *revolución industrial* comenzó en la Gran Bretaña a mediados del siglo XVIII y se transmitió luego a Francia y a otras naciones europeas, aunque en España el impacto fue tardío y muy localizado en determinadas regiones.

Sucintamente consistió en una alianza entre los financieros y los tecnólogos para producir más y mejor, con lo cual, de hecho, se produjo una entente cordial entre quienes poseían dinero y los científicos, capaces de resolver los problemas que la tecnología les causaba en sus centros fabriles. De esa manera cambió absolutamente la sociedad de los Estados en donde se aplicó: se modificaron las ciudades, los campos y la agricultura, las relaciones interpersonales, la prosperidad de las naciones y el papel de los científicos y las instituciones científicas en las mismas²⁷.

²⁶ José Casares Gil, *La Química a finales del siglo XIX*, Madrid: UCM, 1952.

²⁷ Desde la historia de la ciencia estos temas han tenido poca resonancia. Se han ocupado de ellos, con cierta intensidad, José Manuel Sánchez Ron, *Cinzel, martillo y piedra*, Madrid: Taurus, 1999 y María Jesús Santesmases, “Viajes y memoria: las ciencias en España antes y después de la guerra civil”, *Asclepio*, 2007, vol. LIX, nº 2, 213-230; proporciona una bibliografía sobre la industrialización en España que me libera a mí de hacerlo.

En España, Unamuno escribió sobre el tema. Pese a las reticencias anteriormente señaladas, en su *De la Enseñanza Superior* explica la relación entre Ciencia, Tecnología y desarrollo, con absoluta precisión. En una cita suya, mucho menos conocida afirma:

Si algún hecho histórico se está poniendo en claro es el que los progresos técnicos se deben a las relaciones económicas. El capital hace Química tanto o más que la Química hace capital. O para ser más exactos, hemos de decir que hay progreso teórico, una marcha de la Ciencia pura en las mentes y trabajos de los doctores y que este progreso no cuaja en adelantos de aplicación práctica sino a medida que las necesidades económicas lo piden.

Poco después, frente a la idea de destacados profesores contemporáneos y anteriores como Casares Gil, Torres Muñoz de Luna (1822-1890) o Magín Bonet (1818-1894), quienes llegaron a asimilar el bienestar social de las naciones con su adelanto científico, como si la Ciencia fuera capaz, por sí misma, de determinar la abundancia económica de los Estados, sin el acuerdo de los financieros²⁸, José Giral realiza un análisis muy distinto desde su propia experiencia. En 1918 escribe:

Los industriales españoles han considerado siempre al técnico moderno y al especulador científico como factores despreciables, si no perjudiciales para sus cálculos. Refractarios a toda innovación, han despreciado los triunfos de la ciencia, de los cuales ellos son los primeros beneficiados.

No fueron sólo Unamuno y Giral quienes se dieron cuenta de las conexiones. Durante la República, el secretario de la JAE, José Castillejo (1877-1945), pasó a dirigir una nueva Fundación Nacional para Investigaciones Científicas, creada por Decreto de 13 de julio de 1931²⁹. Mediante la misma se pretendía transferir el conocimiento, acumulado gracias a la actividad de la Junta para la Ampliación de Estudios, a la industria. El proyecto, como tantos otros, fue quebrado por la Guerra Civil.

LA POLÉMICA DE LA CIENCIA ESPAÑOLA

Por lo hasta ahora escrito, hemos visto cómo el problema de la Ciencia española se abordó, durante el siglo XIX y el XX, desde las perspectivas política y económica, con un casi absoluto olvido de cuál había sido nuestro pasado en ese ámbito.

A ese olvido contribuyó, en no poca medida, la llamada polémica de la Ciencia española.

²⁸ Javier Puerto, "Ciencia y farmacia en la España decimonónica", *Ayer*, 1992, 7, 153-191.

²⁹ Decreto de 13 de julio de 1931, *Gaceta de Madrid* nº 195 de 14 de julio v. Justo Tormentín Ibañez; Esther Rodríguez Fraile, *La Fundación Nacional para investigaciones científicas (1931-1939)*, Madrid: CSIC., 2001.

La misma es un fenómeno intelectual sobradamente conocido y reconstruido³⁰. En ella la Ciencia y el saber científico, su comprensión parcial y su historia, prácticamente ignorada, son empleadas como armas arrojadas en una palestra ajena al auténtico conocimiento del propio pasado.

Comienza durante la Ilustración, en parte como un epígono de las discusiones entre antiguos y modernos³¹ o tradicionalistas y novatores³² que venían sucediéndose, desde muy antiguo, en nuestro suelo. Se mantiene durante el siglo XIX, con la disputa entre “conservadores” y “progresistas” pero, a lo largo de los siglos, apenas aporta argumentos nuevos para el conocimiento de la Ciencia desarrollada en España.

Durante la Ilustración, la conciencia de decadencia nacional en todos los ámbitos, y muy especialmente en el desarrollo científico, es una constante en gran número de pensadores. A ella se une la esperanza desmesurada en el papel regenerador de la Ciencia moderna que empieza a decaer a partir de la Revolución francesa.

Los escritos parten de una consideración apriorística, positiva o negativa, sobre el pasado científico nacional.

Abre el fuego Carlos Linneo. En su *Biblioteca Botánica*³³ escribe:

La flora española ninguna planta nos ha dado a conocer; siendo así que en lugares fertilísimos de España hay algunas plantas que no se han descubierto. Es sensible dolor que en los lugares más cultivados de la Europa de nuestro tiempo se experimente tanta barbaridad en la botánica³⁴.

Le contestó el cirujano y primer catedrático del Real Jardín Botánico madrileño, Joseph Quer (1695-1764). En el tomo 1º de su *Flora española* (1762) además de hacer una apología sistemática de la Ciencia practicada en nuestro suelo, incluyó el *Catálogo de los autores españoles que han escrito de Historia Natural*. Un centón de nombres, con poco interés para la Historia de la Ciencia.

³⁰ Ernesto y Enrique García Camarero, *La polémica de la ciencia española*, Madrid: Alianza, 1970.

³¹ José Antonio Maravall, *Antiguos y modernos: visión de la historia e idea del progreso hasta el Renacimiento*, Madrid: Alianza, 1998.

³² José María López Piñero, “Juan de Cabriada y la iatroquímica de los novatores a finales del siglo XVII”, en *Los hijos de Hermes. Alquimia y espagiria en la terapéutica española moderna*, Madrid: Corona Borealis, 2001, p. 189-239; Jesús Pérez Magallón, *Construyendo la modernidad: la cultura española en el tiempo de los novatores (1675-1725)*, Madrid: CSIC, 2002.

³³ Carl von Linné, *Biblioteca botánica*, Amstelodami: apud Salomonem Schouten, 1736.

³⁴ La cita la tradujo Josep Quer, *Flora Española o Historia de las plantas que se crían en España*, Madrid: Joachin Ibarra, 1762. Tomo I. La recogió Juan Vernet, *Historia de la Ciencia española*, Madrid: Instituto de España, 1975, p. 133.

Este primer amago polemista no fue bien recibido en España. Las palabras de Linneo, muy probablemente, influyeron en la aceptación de su discípulo, Per Löfling (1729-1756) en la expedición de límites al Orinoco, en donde encontró la muerte³⁵. También en el programa de expediciones botánicas, impulsado por Carlos III, mediante el cual, a principios del siglo XIX otro gran científico, Alexander von Humboldt, (1769-1859) escribió una opinión antagónica:

Ningún gobierno europeo ha invertido sumas mayores para adelantar el conocimiento de las plantas que el español³⁶.

La escasa comunidad científica española acogió el texto de Quer con disgusto. El botánico y cirujano era seguidor de la sistemática botánica de Joseph Pitton de Tournefort (1656-1708) en una Europa partidaria ya de la linneana. Casimiro Gómez Ortega, quien más tarde finalizaría la *Flora* de Quer y la mejoraría en lo posible³⁷, en su discurso de entrada en esta Real Academia reniega de él e incluso aduce, en defensa de España, que el autor era francés³⁸.

El asunto empezó a ponerse difícil a partir del escrito de Masson de Morvilliers (1740?-1789) en la *Encyclopédie Méthodique*³⁹. El autor francés relaciona el influjo negativo de la Iglesia, a través del Tribunal de la Inquisición, con la ausencia de una Ciencia boyante en España.⁴⁰ El tema ya no solo inflamó los sentimientos nacionalistas de algunos científicos, sino sus creencias. El primero en responder fue el abate Antonio José Cavanilles (1745-1804)⁴¹. Aislado en París, en donde ejercía de preceptor de los hijos del embajador español, Duque del Infantado, pidió ayuda a su amigo, el valenciano Juan Bautista Muñoz (1745-1799) quien, a su vez, se la solicitó a Cándido María Trigueros (1736-1798)⁴².

³⁵ Francisco Pelayo López, "Pedro Loeffling y la expedición de Límites al Orinoco", *National Geographic* 1998, vol. 2, nº 4, p. 205-219.

³⁶ Alexander von Humboldt, *Essai politique sur le Royaume de la Nouvelle-Espagne*, Paris, 1881; existe una traducción al castellano efectuada por la editorial Porrua en México el año 2004.

³⁷ Joseph Quer y Martínez, *Continuación de la Flora Española, o Historia de las plantas de España que escribía don... ordenada, supliada y publicada por Casimiro Gómez Ortega*, Madrid: Joachim Ibarra, 1784, tomo V.

³⁸ Ricardo Pascual, *El botánico José Quer (1695-1764), primer apologista de la ciencia española*, Valencia: cátedra e instituto de Historia de la Medicina, 1970.

³⁹ Nicolas Masson de Morvilliers, *Espagne*, en *Géographie moderne, tome premier*; En François Robert; Nicolas Masson de Morvilliers, *Encyclopédie méthodique*, Paris: chez Panckouke, libraire, hôtel de Thou, rue des Poitevins; Liege: chez Plomteux imprimeur des Etats, 1782. Nicolas Masson de Morvilliers, *Abrégé élémentaire de la géographie universelle de L'Espagne et du Portugal*, Paris: chez Moutard, libraire de la Reine, quai des Augustins, près du pont S. Michel, à S. Ambroise, 1786.

⁴⁰ Este asunto ha sido analizado por la historiografía contemporánea en varias publicaciones. Nos da una buena visión del mismo, José Pardo Tomás, *Ciencia y censura: la inquisición española y los libros científicos en los siglos XVI y XVII*, Madrid: CSIC, 1991.

⁴¹ Antonio González Bueno, *Antonio José Cavanilles (1745-1804): la pasión por la ciencia*, Madrid: Fundación Jorge Juan, 2002.

⁴² Francisco Aguilar Piñal, *El académico Cándido María Trigueros (1736-1798)*, Madrid: Real Academia de la Historia, 2001.

Éste último, alejado también de su biblioteca, escribió a vuela pluma una ferviente, aunque plagada de inexactitudes, apología de la Ciencia española. El abate no pudo servirse de ella para dar a la imprenta sus *Observations de M. l'Abbé Cavanilles sur l'article Espagne de la Nouvelle Encyclopédie*⁴³.

El texto fue recibido en España con división de opiniones. Los ilustrados más partidarios de la modernidad lo rechazaron y los más conservadores lo aplaudieron. El propio Cavanilles, amparado a su vuelta a España por los círculos más avanzados, apesadumbrado por los elogios vertidos en su texto hacia Casimiro Gómez Ortega -quien iba a ser su principal antagonista- lo repudió, en parte, en su *Colección de papeles sobre controversias botánicas*⁴⁴.

La piedra ya estaba lanzada. Carlo Denina (1731-1813), un funcionario de la corte prusiana, aprovechó para defender las estructuras del Antiguo Régimen y atacar la nueva ideología francesa en la *Réponse à la question ¿Que doit-on à l'Espagne?*⁴⁵ La Revolución Francesa supuso el final del impulso estatal a la Ilustración en España como movimiento intelectual original, aunque no de sus consecuencias. En palabras de Floridablanca (1728-1808), quien fue uno de sus primeros animadores:

Se dice que este siglo ilustrado ha enseñado a los hombres sus derechos. Pero también les ha robado, además de su felicidad verdadera, tranquilidad y la seguridad de su persona y familia. Aquí no queremos ni tanta luz ni sus consecuencias⁴⁶.

Lo mismo sucede con la Academia de Ciencias. Carlos III había planteado un gran paseo, el del Prado, como homenaje a la razón. Comenzado por el Hospital General y el Colegio de Cirugía de San Carlos, en su parte media tendría el Real Jardín Botánico, el Observatorio Astronómico y la Academia de Ciencias en donde, además, se establecería el Gabinete de Historia Natural⁴⁷. Ante las sucesivas dilaciones, en 1796 Bernardo Iriarte (1735-1814) replantea el tema. Le contesta Godoy (1767-1851) de manera tajante:

En mi tiempo no se verá concluido el establecimiento [...] esta Academia quitó el cetro a Luis XVI⁴⁸.

⁴³ *Observations de M. l'Abbé Cavanilles sur l'article Espagne de la Nouvelle Encyclopédie*, Paris: chez Alex. Jombert jeune, 1784.

⁴⁴ Antonio José Cavanilles, *Colección de papeles sobre controversias botánicas*, Madrid: Imprenta Real, 1796.

⁴⁵ Charles Denina, *¿Qué se debe a España? Respuesta a la pregunta ¿Qué se debe a la España?: discurso leído en la Academia de Berlín en...26 de enero de 1786... por el abate Denina; traducido por D. Manuel de Urquellu*, Cádiz: Imprenta de Manuel Jiménez Carreño, 1786.

⁴⁶ Carta de Floridablanca a Fernán Núñez, en julio de 1789. Citada por Richard Herr, *España y la revolución del siglo XVIII*, Madrid: Aguilar, 1988, p. 198.

⁴⁷ Antonio Lafuente, *Guía del Madrid científico: ciencia y corte*, Madrid: Doce Calles, 1998; Antonio Rumeu de Armas, *Origen y fundación del Museo del Prado*, Madrid: Instituto de España, 1980.

⁴⁸ Archivo Histórico Nacional, Sección de Estado, leg. 3022.

Por tanto no es de extrañar que el propio Floridablanca encargase la respuesta oficial a Nicolás Masson de Morvilliers a Juan Pablo Forner (1756-1797). Su *Oración apologética*⁴⁹ tuvo la virtud de dividir a los intelectuales españoles entre “casticistas” y “afrancesados” o ilustrados.

La defensa de Masson la efectuó Luis María García del Cañuelo en el semanario liberal *El Censor*⁵⁰. Su artículo es un nuevo pretexto para entrar en la batalla política y atacar las estructuras sociales, económicas y políticas entonces vigentes.

La polémica, en definitiva, no sólo fue inútil para el conocimiento del pasado, sino que contribuyó a reforzar un determinado sentimiento xenófobo, una gran conciencia de duda sobre la capacidad hispana para dedicarse a la Ciencia y una visión, a mi parecer, excesivamente sacralizada de su papel en la renovación de las estructuras socio-económicas españolas.

Aunque fuera de la polémica de la Ciencia propiamente dicha, no puede olvidarse el papel del Padre Feijoo (1676-1764) en la Ilustración española, con títulos como *Causas del atraso que se padece en España en orden a las ciencias naturales*⁵¹. Gregorio Marañón (1887-1960)⁵² le consideró el origen de la renovación ilustrada de los estudios científicos y en la actualidad se le tiene por un excelente divulgador, eslabón último del movimiento novator. Aunque su deseo de buscar precedentes históricos en científicos nacionales era común a todos los novatores y, en ese contexto, ha de entenderse su interés en demostrar la prioridad de Servet (1511-1553) o del albéitar Francisco de la Reina en el descubrimiento de la circulación menor de la sangre o las aportaciones fisiológicas del boticario Miguel Sabuco {o de su hija Oliva}, no debe olvidarse que, en la polémica entre novatores y tradicionalistas, durante el reinado de los Austrias, la balanza se inclinó del lado de los segundos. Sin embargo, los Borbones protegieron a Feijoo y a la renovación científica hasta la Revolución Francesa, e inclinaron la balanza del lado de los “modernos”. En este sentido la obra de Feijoo sí puede considerarse precursora del panorama intelectual español más avanzado.

⁴⁹ Juan Pablo Forner, *Oración apologética por la España y su mérito literario*, Madrid: Imprenta Real, 1786.

⁵⁰ *El Censor*, “Discurso CX”, Madrid, 1786, tomo V, pp. 775-794.

⁵¹ Benito Jerónimo Feijoo, *Cartas eruditas y curiosas*, Madrid: Imprenta Real de la Gazeta, 1745, Tomo II, carta 16.

⁵² Gregorio Marañón, *Las ideas biológicas del Padre Feijoo*, Madrid: Espasa-Calpe, 1941.

Durante la primera Ilustración –hasta poco después del fallecimiento de Carlos III– la Ciencia se tomó como un elemento necesario para el Estado y la modernización del mismo, y su historia como argumento en la palestra política pero, tanto la Ciencia como su historia, se utilizaron únicamente como instrumentos subsidiarios de los intereses reformistas monárquicos. Cuando estos dejaron de ser preferentes, por temor al contagio revolucionario, perdieron su interés para los Gobiernos; aunque los programas en marcha siguieron realizándose y las instituciones científicas creadas continuaron funcionando de otra manera, sin el impulso prioritario del inicio.

Sin embargo no fueron éstas las únicas aportaciones españolas al conocimiento del pasado científico.

Por Vicente Peset (1914-1981)⁵³ estamos informados sobre el interés de Gregorio Mayáns y su círculo ilustrado en colaborar con distintas instituciones europeas, interesadas en el conocimiento de nuestra Ciencia. Un médico y naturalista de su entorno, Antonio Capdevila, publicó el *Conspecto cronológico de los escritores españoles y portugueses que han escrito de ciencias naturales en 1770*⁵⁴. Ese texto, junto a la obra de Nicolás Antonio (1617-1684)⁵⁵, fueron las fuentes de las que se sirvió Albrecht von Haller (1708-1777) para su *Bibliothecae*, mediante la cual se conocieron en Europa la Ciencia y los científicos españoles de los siglos XVI y XVII⁵⁶.

Además de las aportaciones del círculo de Mayáns, puede citarse a Juan Sempere y Guarinos quien, en su *Ensayo de una biblioteca española de los mejores escritores del reinado de Carlos III*⁵⁷, se ocupa también de los científicos.

José Vargas Ponce (1760-1821), miembro de esta institución desde 1786, escribió sobre marinos y geógrafos⁵⁸; Vicente de los Ríos (1732-1779), profesor de la

⁵³ Vicente Peset, "Gregorio Mayans (1699-1781) y la Historia de la Medicina", *Cuadernos de Historia de la Medicina Española*, 1965, nº 4, p. 3-53.

⁵⁴ Josep Lluís Barona, Xavier Gómez, Juan A. Micó, Amparo Soler, *La correspondencia entre A. von Haller y Antonio Capdevila*, Valencia: Seminari d'estudis sobre la Ciència, 1996, p. 47.

⁵⁵ Nicolás Antonio, *Bibliotheca hispana vetus*, Madrid: viuda y herederos de Joachim Ibarra, 1788, reeditado como facsímil, Madrid: Visor, 1996; *Bibliotheca hispana novus*, Madrid: Joachim Ibarra, 1783, reeditado como facsímil, Madrid: Visor, 1996.

⁵⁶ Albrecht von Haller, *Bibliotheca botánica*, Tiguri: apud Orell, Gessner, Fuessli et socc., 1771-1772; *Bibliotheca chirurgica*, Bernae et Basileae: Joh. Schwieghauser, 1774-1775; *Bibliotheca anatómica*, Tiguri: apud Orell, Gessner, Fuessli et socc., 1774-1777; *Bibliotheca medicinae practicae*, Bernae et Basileae: E. Haller & H. Schweighauser, 1776-1778.

⁵⁷ Juan Sempere y Guarinos, *Ensayo de una biblioteca española de los mejores escritores del reinado de Carlos III*, Madrid: Imprenta Real, 1785-1786; reeditado como facsímil en Madrid: Gredos, 1969.

⁵⁸ Fernando Durán López, *José Vargas Ponce (1760-1821) ensayo de una biografía y crítica de sus obras*, Cádiz: Universidad, Servicio de publicaciones, 1992.

Academia de Artillería de Segovia y miembro de las Reales Academias de la Historia y Española, sobre los artilleros⁵⁹; Antonio de Capmany (1742-1813) proporciona algunas noticias útiles sobre el comercio y las artes barcelonesas⁶⁰.

Sobre todos destacan los trabajos de Ignacio Jordán Asso y del Río (1742-1814)⁶¹ fundamentalmente el publicado en los *Anales de Historia Natural*, titulado: “Discurso sobre los Naturalistas Españoles”⁶², en donde también el Abate Cavanilles dio a la luz unos Materiales para la Historia de la Botánica, alejado de inclinaciones apologistas⁶³.

La *Oración apologética* de Forner supuso la interrupción temporal de las hostilidades en torno a la polémica de la Ciencia española. Las circunstancias políticas impusieron silencio y ha de esperarse a tiempos de mayor libertad, durante el reinado de Isabel II, para verla reverdecir.

El primero en salir a la palestra, de nuevo, es Antonio Remón Zarco del Valle (1755-1866) miembro fundador de la Real Academia de Ciencias (1847) y Presidente de la misma desde 1848 hasta la fecha de su fallecimiento.

En su discurso: *Las condiciones que la España reúne por su posición geográfica y su topografía física en favor de los progresos de las ciencias*⁶⁴, además de iniciarse en temas que luego iban a volver a ser tratados -como la idoneidad de nuestra nación para ejercer la Ciencia- animaba a reencontrarse con la tradición científica española, según él, esplendorosa, en un texto escrito desde posiciones obviamente panegiristas.

Más impacto tuvo el discurso de entrada, en la misma institución, de José de Echegaray (1832-1916). El ingeniero de caminos, canales y puertos, matemático y Premio Nobel de literatura, lo leyó el 11 de marzo de 1866⁶⁵. Adopta una pos-

⁵⁹ Vicente de los Ríos, *Discurso sobre los ilustres autores e inventores de artillería que han florecido en España desde los Reyes Católicos hasta el presente*, Madrid: Joachim Ibarra, 1767.

⁶⁰ Antonio de Capmany, *Memorias históricas sobre la Marina Comercio y Artes de la antigua ciudad de Barcelona*, Madrid: Antonio Sancha, 1779.

⁶¹ Ignacio de Asso, *Bibliotheca Arabico-Aragonensis*, Amstelodami: Apud Heredes C. Sommer et Socios, 1782; *De libris quibusdam hispanorum rarioribus disquisitio*, Cæsaraugustae: Mariani Miedes, 1794.

⁶² Ignacio de Asso, “Discurso sobre los Naturalistas Españoles”, *Anales de Historia Natural*, 1801, nº 8, p. 170-178.

⁶³ Joseph Cavanilles, “Materiales para la Historia de la Botánica”, *Anales de Historia Natural*, 1800, nº 4, p. 3-56.

⁶⁴ V. Ernesto y Enrique García Camarero, *La polémica de la Ciencia española*, op. cit. p. 151-160.

⁶⁵ José Echegaray, *Historia de las matemáticas puras en nuestra España. Discurso leído en la Real Academia de Ciencias en el acto de recepción*, Madrid: Aguado, 1866. Del cultivo de las Matemáticas por Echegaray se ha ocupado, con singular maestría, José Manuel Sánchez Ron: “José Echegaray y las ciencias matemáticas en el Ateneo”, en Daniel Pacheco, Alejandro R. Díez

tura radicalmente crítica. Parece querer ignorar la realidad de nuestro desarrollo histórico-científico. Pretende hacerlo válido, únicamente, en función de la presencia o ausencia de grandes figuras de talla internacional. Con clara intención político-coyuntural, lanzaba al ruedo la idea de que la Ciencia es actividad de gigantes geniales y de lo contrario no merecía la pena historiarla. Pese a esta actitud, en su discurso incluye frases optimistas respecto al futuro de la comunidad científica española.

Inmediatamente entró en liza Felipe Picatoste (1834-1892)⁶⁶. Lamentaba que un hombre de su mérito *maldiga de la ciencia patria y de su historia* y, además de hacer un repaso por la polémica, le recordaba los nombres de varios matemáticos españoles anteriores a él y los de algunos de sus compañeros de Academia y, después de congratularse por su elección, le reconvenía por el tono del discurso y por su ausencia de información.

Aunque los dos bandos estaban ya bien delimitados, la polémica se reavivó a partir de la Restauración Borbónica.

En 1876 Manuel de Revilla (1846-1881) publicó, en la *Revista Contemporánea*⁶⁷, una reseña al discurso de Gaspar Núñez de Arce (1834-1903) en su entrada en la Real Academia Española. Revilla reincidía -equivocadamente sabemos ahora- en menospreciar la Ciencia española, incluso la del Siglo de Oro, por la inexistencia de cualquier figura comparable a las grandes de entre los europeos y volvía a efectuar un paralelismo entre decadencia científica e intolerancia religiosa. Le contestó un joven Marcelino Menéndez Pelayo (1856-1912) con su “Mr. Masson redivivo”⁶⁸.

A partir de ese primer encontronazo se formaron dos bandos. El “progresista”, o si se prefiere crítico con el pasado científico español, formado por Revilla, José de Perojo (1850-1908)⁶⁹, y Gumersindo de Azcárate (1840-1917)⁷⁰, uno de

Torres, Alejandro Sanz (ed.) *Ateneístas ilustres*, Madrid: Ateneo científico, literario y artístico, 2004, t. I, pág. 247-258, también *Cinzel, martillo y piedra*, Madrid: Taurus, 1999; José Echegaray, Madrid: Biblioteca de la Ciencia Española, Fundación Banco Exterior, 1990.

⁶⁶ “El discurso del señor Echegaray en la Academia de Ciencias”, *Las novedades*, Madrid, 17 de marzo de 1866. Se publicó sin firma pero se le atribuyó a Felipe Picatoste. V. Francisco Vera, *Los historiadores de la matemática española*, Madrid: Suárez, 1935, p. 72. Gran aficionado a la Historia de la Ciencia, escribió: *Apuntes para una biblioteca científica española del siglo XVI*; Madrid: Imprenta Tello, 1891.

⁶⁷ *Revista Contemporánea*. Tomo I, 30 de mayo de 1876.

⁶⁸ Marcelino Menéndez Pelayo, “Mr. Masson redivivo”, *Revista Europea*, 30 de julio de 1876, tomo 8º, número 135.

⁶⁹ José de Perojo, “La ciencia española bajo la Inquisición”, *Revista Contemporánea*, 15 de abril de 1977.

⁷⁰ Gumersindo Azcárate, “El self-government y la monarquía doctrinaria”, *Revista de España*, 28 de marzo de 1876, Tomo XLIX, N° 194, p. 149.

los creadores de la Institución Libre de Enseñanza, frente al “conservador” o, si así se quiere, el panegirista de la tradición científica española, en donde militaban Marcelino Menéndez Pelayo, Gumersindo Laverde (1835-1890) y Alejandro Pidal y Mon (1843-1913)⁷¹.

El principal fruto de esta polémica es la redacción, por parte de Marcelino Menéndez Pelayo, con menos de veinte años, de *La Ciencia española*, en donde incluye un “inventario bibliográfico de la ciencia española”. Ese extraordinario esfuerzo personal dio un resultado intelectual prácticamente nulo, al menos en lo referente a la Historia de la Ciencia. El autor no parece tener muy claro el concepto de Ciencia. Seguramente a consecuencia de eso, el texto está plagado de imprecisiones y errores y repleto de opiniones fieramente personales.

Mucho mayor interés tiene su *Historia de los heterodoxos*⁷², publicada sólo cuatro años después, en donde, pese a sus muy sesgadas interpretaciones, proporciona informaciones rarísimas y curiosas sobre la Ciencia, sus cultivadores y el entorno en donde hubieron de moverse.

Una persona tan trabajadora e inteligente como Menéndez Pelayo no iba a quedar conforme con su obra juvenil y, en 1894, publicó “Esplendor y decadencia de la cultura científica española”⁷³. Allí hace crítica de sus anteriores métodos generalizadores, centra mejor el concepto de lo que es Ciencia y se refiere a las recientes producciones historiográficas de sus contemporáneos en el ámbito de la Botánica o de la Geología.

No incluyo aquí a Ramón y Cajal, ni a Rodríguez Carracido porque, a mi parecer, su intención no es polemizar, sino convencer a sus conciudadanos y a las autoridades de la idoneidad de los españoles para ejercer esta actividad como cualquier otra.

El último gran personaje de quien me voy a ocupar es José Ortega y Gasset (1883-1955). En 1906 escribe un artículo titulado: “La ciencia romántica”. En él afirma:

Pero los que más predicán la buena nueva de la ciencia, no han advertido que quieren que tengamos, ciencia alemana o ciencia francesa, pero no ciencia española.

⁷¹ Marcelino Menéndez Pelayo, *La ciencia española* Madrid: Imp. Central, 1879, 2ª ed. Dedicó la primera parte a Gumersindo Laverde y explica su implicación en la polémica. Lo mismo hace con Alejandro Pidal en la segunda parte de su texto. La primera edición se realizó el año 1876.

⁷² Marcelino Menéndez Pelayo, *Historia de los heterodoxos españoles*, Madrid: imprenta Moroto e hijo, 1880-1882.

⁷³ Marcelino Menéndez Pelayo, “Esplendor y decadencia de la cultura científica española”, *La España Moderna*, 1894, incluido en *La Ciencia española. Edición nacional de las obras completas de Menéndez Pelayo*, Madrid: CSIC, 1953, tomo II, p. 403-438.

Menéndez Pelayo, cuando juvenil y hazañero, rompió aquellas famosas lanzas en pro de la ciencia española; antes de su libro entreveíase ya que en España no había habido Ciencia. Ciencia, no; hombres de ciencia, sí. Y esto quisiera hacer notar. Nuestra raza extrema, nuestro clima extremo, nuestras almas extremosas no son las llamadas a dejar sobre la historia el recuerdo de una forma de vida continuada y razonable⁷⁴.

El esfuerzo de don Marcelino, de Ramón y Cajal y de Rodríguez Carracido había caído en terreno baldío. El filósofo no sólo deducía, de la lectura del primero, la inexistencia de la Ciencia en nuestra Patria como, por otra parte, podría deducir cualquiera por las circunstancias arriba señaladas, sino que ignoraba las sesudas consideraciones de los científicos y se embozaba en los castizos argumentos del clima, la geografía y el alma para exiliarnos de esa forma de conocimiento y cultura.

En sólo dos años matizó su opinión. En la Asamblea para el Progreso de las Ciencias de 1908, leyó un discurso en donde, luego de tratar de definir Europa, dio la siguiente fórmula para conseguir la europeización española:

Sócrates nos ha traído –dice Aristóteles, y perdónenme la cita, inevitable ahora- dos cosas: la definición y el método inductivo. Juntas ambas conducen a la ciencia.

Aquí tenemos, al fin, la novedad introducida en la economía del mundo oriental, gracias a la cual el mundo de Occidente significa algo más que una mera determinación geográfica. Si Europa trasciende en alguna manera del tipo asiático, del tipo africano, lo debe a la ciencia; el europeo no sería, de otro modo, sino una bestia rubia junto a las bestias más pálidas y de bruno pelo que pueblan el Asia, junto a la bestia negra y rizada de Goa y el Victoria-Nyanza. El color de las teces, la proporción del cráneo serán, tal vez, condiciones físicas forzosas para que dé el espíritu su peculiar vibración europea, como la tripa de una cabra es necesaria para que suene justamente la romanza en fa de Beethoven. Unas como otras no son, empero, más que condiciones.

Europa=ciencia: todo lo demás le es común con el resto del planeta.

{...}

Si creemos que Europa es “ciencia” habremos de simbolizar a España en la “inconsciencia”, terrible enfermedad secreta que cuando infecciona a un pueblo suele convertirlo en uno de los barrios bajos del mundo⁷⁵.

La polémica de la Ciencia, en definitiva, duró tres siglos, con una coda tras la Guerra Civil y sus hondas expansivas atenuadas que llegan hasta la actualidad. No fue excesivamente productiva para nada: ni para la Historia de la Ciencia, ni para la Historia general, ni para proyectar un plan común de convivencia y desarrollo. Pese a ello, merece la pena analizarla porque tiene las características de una buena –y tantas veces huera- discusión hispana.

⁷⁴ José Ortega y Gasset: “La ciencia romántica”, *El Imparcial*, 4 de junio de 1906.

⁷⁵ José Ortega y Gasset: Asamblea para el Progreso de las Ciencias, *El Imparcial*, 27 de julio y 10 de agosto de 1908.

Por una parte es una disputa sobre la propia identidad. ¿Pueden los españoles hacer Ciencia? ¿Es una actividad contraria a nuestras costumbres, a nuestra geografía, a nuestro clima, a nuestro espíritu y a lo que el resto del mundo piensa de nosotros?

En segundo lugar se vislumbran las *dos Españas*. En nombre del patriotismo unos creen que no hubo Ciencia. Acusan del atraso a la falta de libertad impuesta por los Gobiernos abusivos, en connivencia con los órganos represivos eclesiales. Con idéntica intención patriótica, otros mantienen el esplendor de la actividad científica, gracias, entre otras cosas, a nuestro genio singular, manifiesto en tantos artistas y literatos, pero también a las condiciones de vida establecidas por esos Gobiernos y esos órganos eclesiales criticados por los primeros.

En tercer lugar, la mayoría de los unos y de los otros desconocen el concepto de Ciencia y los medios necesarios para desarrollarla.

En cuarto, aunque es una discusión aparentemente histórica, ninguno conoce la Historia de la Ciencia en España, ni parece demostrar demasiado interés en informarse.

Por fin, mientras se discute sobre si son galgos o podencos, —a lo largo de tres siglos— en el mundo occidental se desarrolla la Ciencia y la Tecnología y nosotros nos mantenemos en las palabras encrespadas y amenazadoras.

LA HISTORIA DE LA CIENCIA EN ESPAÑA, DURANTE EL SIGLO XX, TRAS LA GUERRA CIVIL

He decidido prescindir del análisis del desarrollo de la Historia de la Ciencia en España durante los siglos XIX y primeros lustros del siglo XX⁷⁶ y dedicarme a exponer aquello de lo que he sido testigo y, en parte protagonista, en la disciplina que profeso.

Exilio y continuidad

Como es bien conocido y ha sido magníficamente estudiado, la contienda fratricida supuso la quiebra de la renovación científica española, dado el alto número de científicos y humanistas que hubieron de exiliarse. En el ámbito de la Historia de la Ciencia, dada su escasa institucionalización, el impacto fue menor. Quedaron en nuestro suelo los catedráticos de Historia de la Medicina y de la Farmacia; se disolvió la “*Asociación Española de Historiadores de la Ciencia*”, pero se

⁷⁶ Para su estudio pueden utilizarse las obras de Josep Lluís Barona: *Ciencia e Historia*, Valencia: Seminari d'estudis sobre la Ciència, 1994. Francesc Bujosa Homar, *Filosofía e Historiografía médica en España*, Madrid: CSIC, 1989 y Javier Puerto, *Historia de la Ciencia. Una disciplina para la esperanza*, Madrid: Akal, 1991.

creó la “Asociación para la Historia de la Ciencia española” presidida, en 1950, por Millás Vallicrosa. En 1973 se fundó la “Sociedad Española de Historia de las Ciencias”, que en 1986 se transformó en la “Sociedad Española de Historia de las Ciencias y las Técnicas”. También se creó la “Societat Catalana d’Història de la Ciència i de la Tècnica”, dentro de L’Institut d’Estudis Catalans.

Hubieron de exiliarse, además de Francisco Vera, Modesto Bargalló Ardévol (1894-1981), Germán Somolinos d’Ardois (1911-1973) y Francisco Guerra (1916-2011). Los dos últimos, historiadores de la Medicina. Bargalló, maestro y licenciado en Ciencias Naturales, hizo aportaciones importantes a la Historia de la minería y la metalurgia durante el exilio. Somolinos d’Ardois, floreció como historiador de la Medicina en México, Vera se interesó en la Historia de la Matemática y fue un adelantado en la de la Ciencia y Francisco Guerra, que había iniciado sus trabajos en España, vivió el exilio en diferentes países y, tras la llegada de la Democracia, volvió a instalarse en España donde ocupó una cátedra de Historia de la Medicina en la Universidad de Alcalá de Henares.

Francisco Vera y Fernández de Córdoba (1888-1967) fue matemático, colaborador del periódico *El Liberal*, polemista con Echegaray y Rey Pastor sobre la existencia de matemáticos durante la Edad Media española y funcionario del Tribunal de Cuentas durante la República. Fundador y Secretario Perpetuo de la “Asociación de historiadores de la Ciencia de España”, hubo de exiliarse, tras la Guerra Civil, y continuó su labor en Latinoamérica.

Antes de marchar al exilio, además de resumir las conferencias dadas por Albert Einstein (1879-1955) durante su estancia en Madrid, editó un buen número de libros histórico científicos. Entre ellos destaca su *Historia de la Ciencia*⁷⁷ en donde, pese a su extremo carácter erudito, se lamenta de haber perdido algunas notas bibliográficas en el viaje efectuado de Madrid a Valencia para seguir al Gobierno republicano. Lo más innovador de su trabajo es la inclusión de los científicos españoles en el panorama general de la Ciencia universal. Su obra más ambiciosa fue la *Historia de la Cultura Científica*, publicada en Buenos Aires en cinco volúmenes⁷⁸. Los trabajos de este historiador, abundantes y eruditos, son muy poco conocidos en nuestro país y, aún hoy en día, de muy complicada localización⁷⁹.

⁷⁷ Francisco Vera, *Historia de la Ciencia*, Barcelona: Iberia, 1937. En dos páginas iniciales se recogen todos sus trabajos, entre los que destaca la *Historia de la Matemática en España*, Madrid: Victoriano Suárez, 1929-1933, en ocho tomos, de los que estaban publicados cuatro. Por razones obvias, ya que este libro se editó durante el conflicto, los otros cuatro quedaron en prensa.

⁷⁸ Francisco Vera, *Historia de la Cultura Científica*, Buenos-Aires: Ediar, 1956-1969. Para el conocimiento de este autor es imprescindible el trabajo de José M. Cobos Bueno y Manuel Pellecin Lancharro, “Francisco Vera Fernández de Córdoba, historiador de las ideas científicas”. *Llull*, 1997, vol. 20, p. 507-528.

⁷⁹ Francisco Vera, *Historia de la Matemática en España*, Madrid: Editorial Victoriano Suárez, 1929-1933; Francisco Vera, *El Tratado de Astrología del marqués de Villena*, Madrid: Editorial

Modesto Bargalló se formó en la Institución Libre de Enseñanza. Se graduó como maestro y se licenció en Ciencias Naturales en la Universidad Central. Colaboró en el Museo de Ciencias Naturales y fue profesor de la Escuela Normal de Magisterio en Guadalajara. Exiliado en México, trabajó en la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas del Instituto Politécnico Nacional y publicó algunos trabajos, de obligada consulta, para quienes tienen interés en la minería o la metalurgia durante el periodo virreinal⁸⁰.

Fue uno de los múltiples exiliados que, sin dejar de considerarse jamás un profesor español, supo realizar una grandísima labor en México, su patria de adopción, en donde fue respetado, celebrado y querido⁸¹.

Germán Somolinos d'Ardois, médico, exiliado también en México, instaló un laboratorio de análisis clínicos en su casa. A partir de 1950 empezó a dedicarse a la Historia de la Medicina, en donde efectuó una extraordinaria labor de rescate de textos y en el estudio de la obra de Francisco Hernández (1517-1587)⁸². En 1956 fue fundador, primero, y Presidente, más tarde, de la Sociedad Mexicana de Historia y Filosofía de la Medicina. En 1960 ingresó en la Academia Nacional de Medicina de México en donde ejerció una activa labor, intelectual y administrativa.

Francisco Guerra, también médico, enseñó Farmacología en diversas universidades mexicanas y norteamericanas, como la UNAM, UCLA o Yale⁸³. Tras la muerte de Franco, regresó a España y ocupó diversos puestos universitarios, hasta ganar una cátedra de Historia de la Medicina en la Universidad de Alcalá

Victoriano Suárez, 1930; Francisco Vera, San Isidoro matemático, Madrid: Editorial Victoriano Suárez, 1931; Francisco Vera, *El matemático madrileño Maslama Benamed*, Madrid: Artes gráficas municipales, 1932; Francisco Vera, *La cultura española medieval*, Madrid: Editorial Victoriano Suárez, 1933.

⁸⁰ Modesto Bargalló, *La minería y la metalurgia en la América Española durante la época colonial*, México-Buenos Aires: Fondo de Cultura Económica, 1955; *La amalgamación de los minerales de plata en Hispanoamérica colonial*, México: Compañía fundidora de hierro y acero de Monterrey, 1969; *Las ferrerías de los primeros veinticinco años del México independiente y la contribución de Lucas Alamán*, México: Compañía fundidora de hierro y acero de Monterrey, 1965; *La Química Inorgánica y el beneficio de los metales en el México prehispánico y colonial*, México: UNAM, 1966

⁸¹ Andoni Garritz, Ricardo Valdez, "Modesto Bargalló Ardévol. Un químico español que se transformó en mexicano", *Educación química*, 2008, n° 19 Editorial.

⁸² Germán Somolinos d'Ardois (editor) Francisco Hernández, *Historia Natural de Cayo Plinio Segundo. Trasladada y acotada por el Doctor Francisco Hernandez*, México: UNAM, 1960. (*Vida y obra de Francisco Hernández*, en el Tomo I, en donde también publicó la bibliografía hernandiana); *Historia de la Medicina*, México: Pormaca, 1964; *Capítulos de historia médica mexicana*, México: Sociedad Mexicana de Historia y Filosofía de la Medicina, 1978-1982; 5 tomos.

⁸³ Para su peripecia biográfica v. Francisco Giral, *Ciencia española en el exilio (1939-1989). El exilio de los científicos españoles*, Barcelona: Anthropos, 1994, en donde también pueden encontrarse semblanzas biográficas y recopilaciones bibliográficas de los otros exiliados citados. También Manuel Sánchez Mariana, "El doctor Francisco Guerra, Bibliófilo", *Pecia Complutense*, 2007, año 4, n° 6 p. 3-10.

de Henares, en donde se jubiló. Antes de fallecer, donó su extraordinaria biblioteca a la Universidad Complutense de Madrid⁸⁴.

Dejó una obra amplísima entre la que destacan los libros dedicados a la Historia de la Medicina⁸⁵, al estudio de las fuentes bibliográficas hispanoamericanas y filipinas para el estudio de la Historia de la Medicina⁸⁶ y al exilio republicano de los médicos⁸⁷.

Pedro Laín Entralgo (1908-2001)

La gran figura de la Historia de la Medicina y de la Ciencia, durante la postguerra y hasta su fallecimiento, fue Pedro Laín. Los historiadores de la Medicina y de la Ciencia solemos quejarnos de su dedicación, sólo parcial aunque magnífica, a la disciplina. No pudo ser de otro modo. Al igual que Gregorio Marañón, sus ambiciones e inquietudes estaban por encima del estrecho marco disciplinario.

Laín estudió Química y Medicina pero estaba interesado en la Filosofía. Su compromiso político con la Falange y la contienda de 1936, dieron al traste con esas aspiraciones. Tras la guerra, jubilado Eduardo García del Real, ganó la oposición a la cátedra de Historia de la Medicina, dirigió el Instituto Arnau de Villanova del CSIC, entró en la Real Academia Nacional de Medicina, la de la Historia y la Española, de la que fue Director. Fue Rector de la Universidad Complutense, dimitió del cargo... y mantuvo una trayectoria intelectual y pública que él mismo analizó⁸⁸.

Aparte de las críticas viscerales sobre su actividad primeriza, acerca de él priman dos visiones: la de su principal discípulo, Diego Gracia, quien analiza su vida intelectual como un paulatino proceso de coherente crecimiento en la constante

⁸⁴ Una biblioteca ejemplar. Tesoros de la colección Francisco Guerra en la Biblioteca Complutense, Madrid: Ollero y Ramos/UCM, 2007.

⁸⁵ Francisco Guerra, *Historia de la Medicina*, Madrid: Norma-Capitel, 2007; *Libellus de medicinalibus indorum herbis: el manuscrito pictórico mexicano-latino de Martín de la Cruz y Juan Badiano de 1552*, México: editorial de Vargas Rea y el Diario español, 1952; *El médico político: estudios biográficos sobre la influencia del médico en la historia política de Hispanoamérica y Filipinas*, Madrid: Afrodísio Aguado, 1975; *La medicina precolombina*, Madrid: Instituto de Cooperación Iberoamericana, 1990; *La verdadera causa del descenso demográfico de los indígenas americanos después de 1492*, Madrid: Academia de Doctores, 1994; *El hospital en Hispanoamérica y Filipinas 1492-1898*, Madrid: Ministerio de Sanidad y Consumo, 1994.

⁸⁶ Francisco Guerra, *Historiografía de la Medicina Colonial Hispanoamericana*, México: Abastecedora de Impresos, 1953; *Historia de la Materia Médica Hispano-Americana y Filipina en la época colonial: inventario crítico y bibliográfico de manuscritos*, Madrid: Afrodísio Aguado, 1973; *Bibliographie medicale des Antilles françaises sous l'ancien regime: Saint-Domingue, Guadeloupe, la Martinique, Sainte-Lucie, Grénade et Guyane: 1765-1805*, Alcalá de Henares: Universidad de Alcalá de Henares, 1994; *Bibliografía médica americana y filipina: periodo formativo*, Madrid: Ollero Ramos, 1998.

⁸⁷ Francisco Guerra, *La Medicina en el exilio republicano*, Alcalá de Henares: Universidad de Alcalá, 2003.

⁸⁸ Pedro Laín, *Descargo de conciencia, 1930-1960* Barcelona: Barral, 1976.

“voluntad de comprensión”⁸⁹ y la de algunos exiliados, como Juan Marichal, quien pone de manifiesto la importancia de la aparición de la revista *Escorial*, en 1940, dirigida por Dionisio Ridruejo (1912-1975) y Laín, con el afán expreso -según sus intenciones escritas- de: *contribuir al restablecimiento de una comunidad intelectual. La trayectoria biográfica de Pedro Laín Entralgo y Dionisio Ridruejo* —escribe Marichal— *muestra que los propósitos conciliadores de Escorial respondían en su caso a una verdadera voluntad de convivencia*. Mostrándose acorde con lo intentado en España, desde su exilio mexicano⁹⁰. Si eso se pensaba en el exilio, quienes le conocimos en el interior mantenemos lo mismo. Mi relación con él fue a través de José Luis Peset. Él, junto a Antonio Lafuente y Helena Hernández Sandoica, recogió a su vera a un grupo de profesores no numerarios, cegados por el interés hacia la Historia de la Ciencia, pero perdidos en un panorama intelectual sombrío. Peset nos implicó en sus programas de investigación, organizó, junto a Joaquín Fernández, en la Facultad de Ciencias Biológicas de la Universidad Complutense, un seminario en donde discutíamos nuestras investigaciones primerizas y aprendimos más en unos meses que en varios años de trabajo solitario. Organizó congresos y conferencias a donde siempre acudía Laín, educado, atento y silencioso. Probablemente sabía de nuestras posiciones metodológicas, historiográficas e incluso políticas, divergentes, pero siempre las apoyó —a través de su discípulo— con afable tolerancia. Como apoyó la creación de cátedras de Historia de la Medicina por toda España y, cuando fue posible, la de profesores institucionalizados de Historia de la Ciencia.

Se ha realizado, sobradamente el análisis de su obra⁹¹. La más interesante, para mí, es la *Historia Universal de la Medicina*⁹². En ella se plasma el anhelo de la Historia total. Historiadores generalistas establecen el marco histórico y los especialistas en Historia de la Ciencia, el científico. Luego, autores especializados van desgranando los distintos temas a partir de posturas historiográficas variadas: desde las más internalistas, ligadas a la Historia filosófica o de las ideas, tan querida por Laín, hasta otros más cercanos a la Historia social. Este variopinto, ecléctico y tolerante mosaico de actitudes historiográficas, resultó extraordina-

⁸⁹ Diego Gracia, *Voluntad de comprensión: la aventura intelectual de Pedro Laín Entralgo*, Madrid: Triacastela, 2010.

⁹⁰ Juan Marichal, *El nuevo pensamiento político español*, México: Finisterre, 1974, p. 26-27.

⁹¹ Además de la obra fundamental de Diego Gracia, se han celebrado numerosos actos de conmemoración, citaré aquí aquellos en los que he participado: Javier Puerto, “Las manos de los dioses”. Laín contemplado desde la Historia de la Farmacia. En Diego Gracia (ed.) *Ciencia y vida. Homenaje a Pedro Laín Entralgo*, Bilbao, Fundación BBVA, 2003, p. 133-150; “Pedro Laín y la Historia de la Ciencia”, en J. M. Urkia (ed.) *Pedro Laín. En el centenario de su nacimiento (1908-2008)*, Donostia-San Sebastián, Real Sociedad Bascongada de los amigos del País/Sociedad Estatal de conmemoraciones culturales, 2009, p. 90-97; “Homenaje a Pedro Laín Entralgo”, *El Ateneo. Revista científica, literaria y artística.*, 2002, IX-X, cuarta época. p. 33-36; además, José María López Piñero, analizó a fondo su obra en el Discurso de entrada en esta Real Academia, *Pedro Laín Entralgo y la historiografía médica*, Madrid: Real Academia de la Historia, 2005.

⁹² Pedro Laín Entralgo; comité de redacción Agustín Albarracín, Luis Sánchez Granjel y José María López Piñero, *Historia Universal de la Medicina*, Barcelona: Salvat, 1972-1975.

riamente atractivo para quienes nos ocupábamos de esos temas. Influyó y sigue influyendo en nuestros trabajos, como la posición comprometida, tolerante, liberal y evolutiva del maestro. A través de Peset, tuvimos también acceso a sus cursos de doctorado, en donde conocimos a grandes figuras de la Historia, amigos suyos, como José Antonio Maravall (1911-1986) cuya clase todavía recuerdo como un prodigio de concisión, claridad de ideas y síntesis. Eso que se trataba de un tema sobre la Ilustración que nosotros creíamos conocer en profundidad.

En uno de los últimos homenajes que le rendimos, en vida, en la Universidad Complutense, él afirmó que su contribución a la Historia era escasa. Su mérito, aseguraba entonces, había estado en encargar la Historia de la Medicina española a Sánchez Granjel y la de la Ciencia a José María López Piñero.

Efectivamente, Luis Sánchez Granjel⁹³, desde su cátedra de Historia de la Medicina de Salamanca, se dedicó al estudio de la Historia de la Medicina española, también contribuyó a completar los catálogos de fuentes necesarios para el ejercicio historiográfico, se ocupó en la Historia de la Medicina vasca y navarra y de las relaciones entre Historia de la Medicina y la Literatura. Su amplísima obra continuó desde su cargo de Bibliotecario académico de la Real Academia Nacional de Medicina⁹⁴.

A José María López Piñero (1933-2010) le considero el más importante historiador de la Ciencia que se ha dado en nuestro suelo. Miembro de la Real Academia de la Historia, sus trabajos sobre la Medicina y la Ciencia en los siglos XVI y XVII⁹⁵, culminados con su magistral *Ciencia y técnica en la sociedad española de los siglos XVI y XVII*⁹⁶, causaron tal estupor y admiración en la pequeña comunidad científica española, que debieron pasar bastantes años para que algunos nos atreviéramos a caminar por los mismos senderos historiográficos iniciados por él. Autor de una obra enciclopédica, se ocupó de recopilar las fuentes necesarias para la Historia de la Medicina y de la Ciencia; hizo estudios biográficos; editó fragmentos de los clásicos de la Historia de la Medicina; con fortuna variable, se ocupó de todas las épocas históricas y de variadas disciplinas, de la ilustración gráfica en los textos científicos y de estudios regionales y locales sobre su tierra de adopción.

⁹³ Juan Riera Palmero, "Medio siglo de historiografía médica española: aproximación a la obra de Luis S. Granjel", *Llull*, 2003, vol. 26, p. 257-278; *Historia y Medicina en España. Homenaje al Profesor Luis Sánchez Granjel*, Valladolid: Consejería de Cultura y Turismo de la Junta de Castilla y León, 1994. En donde pueden encontrarse referencias a su amplísima bibliografía.

⁹⁴ Luis Sánchez Granjel, *Historia de la Real Academia Nacional de Medicina*, Madrid: Real Academia Nacional de Medicina, 2006.

⁹⁵ Javier Puerto, "Un clásico contemporáneo", *Arbor*. 1996: pp. 23-36. Ese número de la revista se dedicó, por entero, a conmemorar la publicación del libro citado en la nota siguiente.

⁹⁶ José María López Piñero, *Ciencia y técnica en la sociedad española de los siglos XVI y XVII*, Barcelona: Labor Universitaria, 1979.

López Piñero nos marcó el camino hacia la Historia total. Nos propuso ser historiadores antes que cualquier otra cosa y, por tanto, nos animó a tener en cuenta a las grandes figuras, pero también a las comunidades científicas en su totalidad; a observar el impacto social, político y económico en la actividad científica y a contemplar la Ciencia como Cultura, para tratar de ponerla al mismo nivel que otras circunstancias históricas, pero sin sobrevalorarla.

Tras él, toda una generación nos lanzamos a la Historia y sus fuentes. Entramos en los archivos, estudiamos las instituciones, nos preocupamos de la Historia social, tuvimos aún más inquietud por el conocimiento de la Historia general, tratamos, en definitiva, de hacer una contribución al conocimiento global del pasado patrio desde una especialidad pequeña, sin desdeñar ninguno de los intentos anteriores, tampoco el internalismo o la Historia de las ideas o de la filosofía científica, ni los minuciosos trabajos sobre la recopilación de fuentes o la bibliografía, aunque prefiriéramos, en principio, otros aspectos relacionados con la Historia social, como parte de una explicación global del pasado⁹⁷.

Como hablo de maestros, he de mirar hacia la Historia de la Farmacia.

Tras la fractura guerrera, la disciplina continuó con Rafael Folch Andreu. También Rafael Roldán contribuyó, desde la Real Academia de Farmacia, con su *Diccionario biográfico y bibliográfico de autores farmacéuticos españoles* y desde el Ejército con la consolidación del Museo de Farmacia Militar.

Guillermo Folch Jou (1917-1987) fue profesor de Historia de la Farmacia desde 1942, director del Museo de la Farmacia Hispana, creado por su padre, desde 1951 y catedrático a partir de 1954. Además de otras muchas ocupaciones, en la Universidad publicó textos para la docencia y efectuó una intensa actividad investigadora. Trató de renovar la metodología de la disciplina pero, sobre todo, fue un maestro cercano, tolerante y liberal, en tiempos en donde esto no era ni habitual ni frecuente⁹⁸.

En Barcelona desarrollaron la materia sus amigos José Luis Gómez Caamaño⁹⁹

⁹⁷ La obra de José María López Piñero ha merecido varios análisis. El año 1982, la revista *Anthropos. Boletín de información y documentación*, le dedicó el número del 20 de diciembre. Tras su fallecimiento, Horacio Capel y Gerard Jori, coordinaron un número de *Scripta Nova. Revista electrónica de Geografía y Ciencias Sociales*, vol. XIV, nº 343 de 25 de noviembre de 2010, en donde varios historiadores hacíamos un recorrido por su peripecia vital e intelectual. Allí se recoge un amplio resumen curricular, que me libera de más notas bibliográficas.

⁹⁸ Javier Puerto, Guillermo Folch Jou, farmacéutico e historiador, *Anales de la Real Academia Nacional de Farmacia*, 2012, nº1, vol. 79.

⁹⁹ José Luis Gómez Cáamaño, *Páginas de Historia de la Farmacia*, Barcelona: Sociedad Nestlé, 1970.

y José María Suñé¹⁰⁰. Ahora lo hace el mío, Juan Esteva de Sagrera¹⁰¹, magnífico profesional con gran interés en la Alquimia y en los trabajos en donde se unen las Humanidades y la Historia.

Los más recientes catedráticos de la materia, Antonio González Bueno¹⁰² y Alberto Gomis¹⁰³, además, son excelentes historiadores de la Ciencia y más concretamente de la Botánica y la Biología.

EL FIN DE LA POLÉMICA DE LA CIENCIA ESPAÑOLA

Si esa discusión era, en parte, histórica pero se desconocía la Historia de España en éste ámbito, las cosas son muy distintas en la actualidad.

Tenemos tratados generales, como los de Vera, Vernet o S. Granjel, a los que se han añadido la serie de monografías dirigidas por mí¹⁰⁴, el de Javier Ordoñez, Víctor Navarro y José Manuel Sánchez Ron¹⁰⁵, el de Carlos Solís y Manuel Sélles¹⁰⁶ y el de Leoncio López-Ocón¹⁰⁷, aunque en este campo no está todo hecho, ni mucho menos.

Hay colecciones de ensayos, públicas¹⁰⁸ y privadas¹⁰⁹. Colecciones de clásicos

¹⁰⁰ Juan Esteva de Sagrera, Antonio González Bueno (eds.), *Cordialero de libros y medicamentos. Homenaje al Dr. José María Suñé*, [s.l.]: Sociedad de Docentes Universitarios de Historia de la Farmacia, 2009.

¹⁰¹ Juan Esteva de Sagrera, *Historia de la Farmacia. Los medicamentos, la riqueza y el bienestar*, Barcelona: Masson, 2005.

¹⁰² Antonio González Bueno, Alberto Gomis, *Los territorios olvidados: estudio histórico y diccionario de los naturalistas españoles en el África hispana (1860-1936)*, Sevilla: Consejería de Agricultura y Pesca, 2007.

¹⁰³ Alberto Gomis, "Veinticinco años de Historia de la Biología en España (1977-2002)", *Llull*, 2003, vol. 26, p. 109-156.

¹⁰⁴ Javier Puerto (dir.) *Historia de la Ciencia y de la Técnica*, Madrid: Akal, 1991 (50 números).

¹⁰⁵ Javier Ordoñez, Víctor Navarro, José Manuel Sánchez Ron, *Historia de la Ciencia*, Pozuelo de Alarcón (Madrid): Espasa Calpe, 2007; José Manuel Sánchez Ron, *El país de los sueños perdidos. Historia de la ciencia en España*, Barcelona: Taurus, 2020.

¹⁰⁶ Carlos Solís, Manuel Sellés, *Historia de la Ciencia*, Pozuelo de Alarcón (Madrid): Espasa-Calpe, 2007.

¹⁰⁷ Leoncio López Ocón, *Breve historia de la ciencia española*, Madrid: Alianza, 2003.

¹⁰⁸ *Cuadernos valencianos de Historia de la Medicina y de la Ciencia* y la colección *Sciencia veterum*, publicados en Valencia por el Instituto de Historia de la Medicina y de la Ciencia, López Piñero. Los *Cuadernos Galileo* y la *Colección de Estudios sobre la Ciencia* del CSIC. Los *Estudios de Historia de la Ciencia y la Técnica*, publicados por la Junta de Castilla y León y la *Biblioteca Rafael y Guillermo Folch*, publicada, en su día, por el grupo *Folchia* de la Facultad de Farmacia de la UCM. También la Sociedad de Docentes Universitarios de Historia de la Farmacia ha editado algunos textos. Joaquín Fernández dirigió una excelente colección de facsímiles editados por la Secretaría General del Plan Nacional de I+D, Comisión Interministerial de Ciencia y Tecnología.

¹⁰⁹ La Editorial *Nivola* y la editorial Doce Calles, colección *Theatrum Naturae*.

de la Ciencia, españoles¹¹⁰ e internacionales¹¹¹; de la Medicina y de la Farmacia¹¹². Existen también suficientes revistas especializadas: *Asclepio*, *Dinamis*, *Llull* y, en parte, *Geo-Crítica*¹¹³ y, además de los mencionados repertorios bibliográficos, algunos textos dedicados a la historiografía¹¹⁴.

Si queremos conocer la Historia de la Ciencia medieval en España, podemos acudir a los trabajos de Millás Vallicrosa¹¹⁵, a los de Vernet¹¹⁶, Julio Samsó¹¹⁷, Fernando Girón¹¹⁸, Luis García Ballester (1936-2000)¹¹⁹, Juan Antonio Paniagua

¹¹⁰ José Manuel Sánchez Ron (dir.) *Biblioteca de la Ciencia Española*, Madrid: Fundación Banco Exterior, 1990. (Se editaron cinco tomos).

¹¹¹ José Manuel Sánchez Ron (dir.) *Clásicos de la Ciencia y la Tecnología*, Barcelona: Crítica, 2005 (sigue en marcha).

¹¹² Empezó Pedro Laín: *Clásicos de la Medicina*, Madrid: El Centauro, 1948 y otras fechas de publicación; Diego Gracia y Javier Puerto dirigieron la *Biblioteca de Clásicos de la Medicina y la Farmacia española* de la Fundación de Ciencias de la Salud y en el *Colegio Oficial de Farmacéuticos de Burgos*, se editó una colección de *Clásicos de la Farmacia burgalesa*.

¹¹³ La Societat Catalana d'Història de la Ciència y de la Tècnica, publicó el *Butlletí de la Societat Catalana...* y ahora las *Actes d'Història de la Ciència i de la Tècnica*. También la Societat Catalana d'Història de la Farmàcia, publica la *Revista* de la misma.

¹¹⁴ Luis S. Granjel, *Estudio histórico de la Medicina*, Salamanca, [s.l.], 1961; Antonio Lafuente, Juan J. Saldaña, *Nuevas tendencias. Historia de las Ciencias*, Madrid: CSIC, 1987; Horacio Capel, *Historia de la Ciencia e Historia de las disciplinas científicas. Objetivos y bifurcaciones de un programa de investigación sobre historia de la Geografía, Geo-crítica*, 1989, n° 84; Francesc Bujosa Homar, *Filosofía e historiografía médica en España*, Op. cit.; Javier Puerto, *Historia de la Ciencia. Una disciplina para la esperanza*, op. cit.; "Las fuentes documentales sobre la historia de las ciencias en España", en José Luis García Hourcade, Juan M. Moreno, Gloria Ruiz Hernández, (coords.) *Estudios de Historia de las técnicas, la arqueología industrial y las Ciencias*. Salamanca: Junta de Castilla y León, 1998, p. 107-118; José Lluís Barona, *Ciencia e Historia*, op. cit.; José María López Piñero, *La historiografía de la Ciencia y los estudios sobre la sociedad española durante la Edad Moderna*, Valencia: Gráficas Antolín Martínez S.L., 2005; Pedro Laín Entralgo y la *Historiografía médica*, op., cit.; Antonio González Bueno, *Guía de fuentes para la Historia de la Farmacia*, Granada: Fundación Nacle Herrera, 2006.

¹¹⁵ José María Millás Vallicrosa, *Estudios sobre Historia de la Ciencia española*, Barcelona: CSIC, 1949; *Nuevos estudios sobre Historia de la Ciencia española*, Barcelona: CSIC, 1960; *Las tablas astronómicas del Rey Don Pedro el Ceremonioso*, Madrid: CSIC, 1962.

¹¹⁶ Juan Vernet, *Textos y estudios sobre Astronomía española en el siglo XIII*, Barcelona: CSIC, 1981; *Nuevos estudios sobre Astronomía española en el siglo de Alfonso X*, Barcelona: CSIC, 1983; *Lo que Europa debe al Islam*, Barcelona: Quaderns Crema, 2001.

¹¹⁷ Mercè Comes, Roser Puig y Julio Samsó, *De Astronomía Alphonsi Regis*, Barcelona: Universidad de Barcelona-CSIC, 1987; Julio Samsó, *Las ciencias de los antiguos en Al-Andalus*, Madrid: Mapfre, 1992; *Islamic Astronomy and medieval Spain*, Hampshire: Variorum, 1994; *Astronomy and Astrology in Al-Andalus and the Maghrib*, Aldershot (England) Burlington, VT: Ashgate/Variorum, 2007.

¹¹⁸ Fernando Girón: *Oriente islámico medieval*. Madrid: Akal, 1994; *Occidente islámico medieval*, Madrid: Akal, 1994.

¹¹⁹ Luis García Ballester, *Historia social de la medicina en la España de los siglos XIII al XVI*, Madrid: Akal, 1976; *Practical medicina from Salerno* [junto a otros autores], Cambridge: Cambridge University Press, 1994; *Arnaldi de Villanova Opera medica omnia*, Barcelona: Fundación Noguera/Universitat de Barcelona, 2000, Vol. 1; *La búsqueda de la salud. Sanadores y enfermos en la España medieval*, Barcelona: Península, 2001; Luis García Ballester (dir.) *Historia de la Ciencia y de la Técnica en la Corona de Castilla, Edad Media I*, Salamanca: Junta de Castilla y León, 2002.

(1920-2010)¹²⁰, o Thomas F. Glick¹²¹, entre otros.

Para los siglos XVI y XVII, la inmensa obra de José María López Piñero y quienes con él trabajaban en Valencia, como Víctor Navarro¹²². Tras el impacto y el asombro producido inicialmente por sus investigaciones, algunos nos sumamos al análisis de ese periodo histórico¹²³. Destacan los trabajos del grupo vallisoletano formado por María Isabel Vicente Maroto¹²⁴, Manuel Esteban Piñero y Nicolás García Tapia¹²⁵ y los de Raquel Álvarez¹²⁶ o Carlos Solís y Manuel Sellés¹²⁷, entre otros.

La Historia de la Ingeniería ha sido estudiada por el citado García Tapia, Ignacio González Tascón (1947-2006)¹²⁸, José Antonio García-Diego (1920-1994)¹²⁹ y

¹²⁰ Juan Antonio Paniagua, *Studia Arnaldiana. Trabajos en torno a la obra médica de Arnau de Vilanova, c. 1240-1311*, Barcelona: Fundación Uriach, 1994.

¹²¹ Thomas F. Glick, *Tecnología, ciencia y cultura en la España medieval*, Madrid: Alianza, 1992.

¹²² Víctor Navarro Brotons, William Eamon (ed.) *Más allá de la leyenda negra: España y la revolución científica*, Valencia: Instituto de Historia de la Ciencia y Documentación López Piñero, 2007.

¹²³ Javier Puerto, *El Renacimiento. La superación de la tradición*, Madrid: Akal, 1991; *El hombre en llamas. Paracelso*, Tres Cantos, (Madrid): Nivola, 2001; *Los Hijos de Hermes. Alquimia y espagieria en la terapéutica española moderna*. Coordinador del libro junto a M. Esther Alegre Pérez, Mar Rey Bueno y Miguel López Pérez, Madrid: Corona Borealis, 2001. *La Leyenda Verde. Naturaleza, sanidad y ciencia en la Corte de Felipe II (1527-1598)*, Salamanca: Junta de Castilla y León, 2003. *Prodigios y naufragios. Estudios sobre la terapéutica farmacológica en España y América durante el Siglo de Oro*. (con Juan Esteva y María Esther Alegre). Aranjuez: Doce Calles, Theatrum Sanitatis, serie minor, 2006.

¹²⁴ Isabel Vicente Maroto, Mariano Esteban Piñero, *Aspectos de la Ciencia aplicada en la España del Siglo de Oro*, Valladolid: Consejería de Cultura y Bienestar Social, 1991; Antonio Crespo Sanz e Isabel Vicente Maroto, *Mapas de España, siglos XVI al XVIII*, Valladolid: Universidad de Valladolid, 2006.

¹²⁵ Nicolás García Tapia, *Patentes de invención españolas en el Siglo de Oro*, Madrid: Registro de la Propiedad Industrial, Ministerio de Industria y Energía, 1990; *Ingeniería y arquitectura en el Renacimiento español*, Valladolid: Universidad de Valladolid, 1990; *Historia de la Técnica*, Madrid: CSIC, 1994; *Técnica y poder en Castilla durante los siglos XVI y XVII*, Valladolid: Junta de Castilla y León, Consejería de Educación y Cultura, 2003; Nicolás García Tapia, Jesús Carrillo Castillo, *Tecnología e imperio: ingenios y leyendas del Siglo de Oro: Turriano, Lastanosa, Herrera, Ayanz*, Tres Cantos: Nivola, 2002.

¹²⁶ Raquel Álvarez, *La Historia Natural en los siglos XVI y XVII*, Madrid: Akal, 1991; *La conquista de la naturaleza americana*, Madrid: CSIC, 1993; Raquel Álvarez, Florentino Fernández (ed.) *De materia medica novae hispaniae libri quatuor*, Aranjuez: Doce Calles/ Valladolid: Junta de Castilla y León, 1998.

¹²⁷ Carlos Solís, *La revolución de la Física en el siglo XVII*, Madrid: Akal, 1991; Manuel Sellés, Carlos Solís, *La revolución científica*, Madrid: Síntesis, 1994.

¹²⁸ De entre sus numerosas y eruditísimas obras citaré: Ignacio González Tascón, *Ingeniería española en ultramar: siglos XVI-XIX*, Madrid: Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo/Colegio de ingenieros de Caminos, 1992.

¹²⁹ Pseudo Juanelo Turriano, *Los veintinueve libros de los ingenios y máquinas de Juanelo Turriano*, prólogo de Pedro Laín, transcripción de Rosa García Calvo, reflexiones de José Antonio García-Diego, Madrid: Fundación Juanelo Turriano/ Aranjuez: Doce Calles, 2009.

Horacio Capel¹³⁰, quien también se ha ocupado de otras muchas cosas relacionadas con la Historia de la Geografía y la de la Ciencia. También la Real Academia de Ingeniería ha publicado la *Técnica e Ingeniería en España*¹³¹.

La Historia de las Matemáticas encontró un cultivador dedicado en Mariano Hormigón (1946-2004)¹³², quien fue Presidente del XIX Congreso Internacional de Historia de la Ciencia, celebrado en Zaragoza el año 1993, Elena Ausejo¹³³ y otros miembros del grupo de la Universidad zaragozana.

Si los historiadores de la Ciencia de mi generación seremos recordados por alguna actividad colectiva, sin lugar a dudas será por el análisis cuidadoso efectuado sobre la Ciencia de la Ilustración que, creo yo, ha influido sobre la percepción general de ese periodo.

Comenzamos con la tarea animados por las lecturas de autores como José Luis Abellán¹³⁴, Gonzalo Anes¹³⁵, Guillermo Céspedes del Castillo (1920-2006)¹³⁶, Antonio Domínguez Ortiz (1909-2003)¹³⁷, Richard Herr¹³⁸, Carmen Iglesias¹³⁹ o Jean Serrailh¹⁴⁰, entre otros.

Nos encontrábamos ante una época histórica con poca fortuna, muy desprestigiada por cierta historiografía que, para nosotros, se presentaba como uno de los grandes momentos de alianza entre científicos y gobernantes, con la inten-

¹³⁰ Javier Puerto, "Horacio Capel y la historia de las ciencias: una visión periférica", *Anthropos*, 1993, nº 11, p. 59-60.

¹³¹ Manuel Silva Suárez (ed.) *Técnica en Ingeniería en España*, Madrid: Real Academia de Ingeniería/Institución Fernando el Católico, 2004-2019.

¹³² Mariano Hormigón, *Las matemáticas del siglo XVIII*, Madrid: Akal, 1994; *Las matemáticas del siglo XIX*, Madrid: Akal, 1991; Mariano Hormigón, Elena Ausejo, *Paradigms and mathematics*, Madrid: Siglo XXI de España ed., 1996.

¹³³ Elena Ausejo, *La institucionalización científica en España en el primer tercio del siglo XX: la Asociación Española para el Progreso de las Ciencias*, Zaragoza: [s.n.], 1991; *Las matemáticas en el siglo XVII*, Madrid: Akal, 1992.

¹³⁴ José Luis Abellán, *Historia crítica del pensamiento español*. Vol. 3. *Del Barroco a la Ilustración: (siglos XVII y XVIII)*, Madrid: Espasa-Calpe, 1981.

¹³⁵ Gonzalo Anes, *El Antiguo Régimen: Los Borbones*, Madrid: Alianza, 1976; *Economía e "Ilustración" en la España del siglo XVIII*, Barcelona: Ariel, 1981.

¹³⁶ Guillermo Céspedes del Castillo, *América hispánica (1492-1898)*, en Manuel Tuñón de Lara (dir.) *Historia de España*, Barcelona: Labor, 1983.

¹³⁷ Antonio Domínguez Ortiz, *Sociedad y Estado en el siglo XVIII español*, Barcelona: Ariel, 1981.

¹³⁸ Richard Herr, *España y la revolución del siglo XVIII*, Madrid: Aguilar, 1964.

¹³⁹ Carmen Iglesias Cano, *El pensamiento de Montesquieu: política y ciencia natural*, Madrid: Alianza, 1984.

¹⁴⁰ Jean Serrailh, *La España ilustrada de la segunda mitad del siglo XVIII*, Madrid: Fondo de Cultura Económica, 1979.

ción de mejorar las condiciones de vida de los españoles y de los territorios ultramarinos. Lo más parecido, en nuestro suelo, a la revolución científica producida en otras naciones europeas, aunque con muy distinto sesgo. Los Borbones, lejos de ser una dinastía extranjera y extranjerizante, se nos mostraban como los paladines de la modernidad, los precursores de una España libre y próspera.

Con José Luis Peset¹⁴¹ a la cabeza, comenzamos el análisis de las instituciones científicas, los viajes científicos a ultramar, la enseñanza de las ciencias y las relaciones entre Ciencia y poder, que dieron lugar, en menos de veinte años, a un número verdaderamente considerable de trabajos¹⁴², a la presentación del periodo como una época repleta de esperanza, uno de los antecedentes más evidentes de la España democrática y en libertad. Manera de ver las cosas no atribuible en exclusiva a los historiadores de la Ciencia pero a la cual han contribuido de forma decisiva, junto a los de la Economía y los generalistas.

En el estudio de la Historia de la Ciencia durante los siglos XIX y XX, destaca José Manuel Sánchez Ron¹⁴³. También, entre otros, Antonio Moreno¹⁴⁴ o José Luis Barona¹⁴⁵.

¹⁴¹ De José Luis Peset, citaré, *Ciencia, vida y espacio en Iberoamérica*, Madrid: CSIC, 1989, los tres volúmenes que recogieron las ponencias de un congreso internacional, mediante el cual se resolvía uno de los primeros grandes proyectos de investigación y su libro *Ciencia y libertad: el papel del científico ante la independencia americana*, Madrid: CSIC, 1987.

¹⁴² Como representativos están los textos de Antonio Lafuente, Antonio Mazuecos, *Los caballeros del Punto Fijo: Ciencia, política y aventura en la expedición geodésica hispanofrancesa al virreinato del Perú en el siglo XVIII*, Barcelona: Serbal/CSIC, 1987; Javier Puerto, *La ilusión quebrada. Botánica, sanidad y política científica en la España Ilustrada*, Barcelona: Serbal/CSIC, 1988; Manuel Sellés, José Luis Peset, Antonio Lafuente, *Carlos III y la ciencia de la Ilustración*, Madrid: Alianza, 1987. Los trabajos efectuados sobre las expediciones científicas fueron recogidos por Miguel Ángel Puig Samper, Francisco Pelayo (Eds.) *La exploración botánica del Nuevo Mundo en el siglo XVIII*, Madrid. Monográfico de Asclepio. 1995. Botanical Exploration in the New World in the Eighteenth Century, *Physis*, 1994, XXXI, fasc. 2, p. 602-604. "Las expediciones botánicas al nuevo mundo durante el siglo XVIII. Una aproximación histórico-bibliográfica-científica en el siglo XVIII", en Diana Soto, Miguel Ángel Puig-Samper, Luis Carlos Arboleda (eds.), *La Ilustración en América Colonial*, Aranjuez, Doce Calles, 1995, p. 55-66; Francisco Pelayo, Miguel Ángel Puig-Samper, "La exploración botánica del Nuevo Mundo en el siglo XVIII", en J. D'Hombres, Mariano Hormigón, Elena Ausejo, (Eds.), *XIXth International Congress of History of Science* Simposia Survey Papers- Plenary Lectures. Zaragoza, 1993, p. 151-162.

¹⁴³ José Manuel Sánchez Ron, *Cinzel, martillo y piedra. Historia de la Ciencia en España (siglos XIX y XX)*, Madrid: Taurus, 1999; José Manuel Sánchez Ron (coord.) *1907-1987. La Junta para Ampliación de Estudios e investigaciones científicas 80 años después*, Madrid: CSIC, 1988; José Manuel Sánchez Ron, José García Velasco, *100 JAE. La Junta para Ampliación de Estudios e Investigaciones Científicas en su centenario*, Madrid: Institución Libre de Enseñanza/ Residencia de Estudiantes, 2010.

¹⁴⁴ Antonio Moreno González, *José Rodríguez Carracido*, Madrid: Fundación Banco Exterior, 1991; *Aproximación a la Física; una historia de visionarios, rebeldes y creadores*, Madrid: Mondadori, 1988; Antonio Moreno et alts. *Física*, Madrid: Editorial Centro de Estudios Ramón Areces S.A., 2008.

¹⁴⁵ José Luis Barona (ed.), *El exilio científico republicano*, Valencia: Universitat de València, 2010.

Durante los periodos mencionados se ha abordado el fenómeno científico desde las más variadas perspectivas. Se han estudiado instituciones científicas de vida corta, media y larga, como la Universidad. Se ha abordado el análisis de diversas materias, principalmente la Química, la Física, la Matemática, la Botánica, la Geología, los albores de la Ecología y las expediciones científicas de manera casi exhaustiva.

Aunque la mayoría de los trabajos han sido escritos desde la ambición conceptual de la Historia total o de la Historia social, también hay algunos dedicados a la Historia de las ideas científicas.

Se han efectuado estudios históricos sobre la presencia de la mujer en las instituciones y la actividad científicas a cargo de María Jesús Santesmases¹⁴⁶, Teresa Ortiz¹⁴⁷, María del Carmen Francés¹⁴⁸ o Rosa Basante.¹⁴⁹

Los historiadores de la Medicina tienen su propia dinámica interna que, además de hacerles profundizar en la Historia de las instituciones sanitarias, la Historia de la enfermedad, las interacciones entre Sociedad y salud y la Historia de las principales disciplinas médicas, ha abierto un debate universitario entre la Historia de la Medicina, propiamente dicha, las humanidades médicas y la antropología médica, cuyo análisis es imposible de abarcar por mí, en éste momento.

Tanta actividad, alguna de excelente calidad, no podía pasar desapercibida en el ámbito intelectual. Algunos historiadores generalistas, como quien fue Presidente de esta Real Academia, Antonio Rumeu de Armas (1912-2006), dentro de su amplísima producción bibliográfica, tiene algunos textos de obligada consulta para el estudio de la ingeniería durante la Ilustración o de la prevención social en España¹⁵⁰.

¹⁴⁶ María Jesús Santesmases, *Mujeres científicas en España (1940-1970): profesionalización y modernización social*, Madrid: Instituto de la Mujer, 2000. También ha publicado excelentes trabajos sobre historia de la bioquímica y de la industria farmacéutica.

¹⁴⁷ Teresa Ortiz, Gloria Becerra Conde (eds.) *Mujeres de ciencias: mujer, feminismo y ciencias naturales, experimentales y tecnológicas*, Granada: universidad de Granada, Instituto de Estudios de la Mujer, 1996. Teresa Ortiz, *Las mujeres y la actividad científica en los siglos XIX y XX*, Córdoba: Diputación de Córdoba, 1999; Montserrat Cabré, Teresa Ortiz, *Mujeres y salud: prácticas y saberes*, Granada: universidad de Granada, 1999; *Sanadoras, matronas y médicas en Europa: siglos XII-XX*, Barcelona: Icaria, 2001.

¹⁴⁸ María del Carmen Francés, "Las primeras mujeres doctoras en Farmacia por la Universidad de Madrid", *Boletín de la Sociedad Española de Historia de la Farmacia*, 1977, n° 28, III, p. 149-159.

¹⁴⁹ Rosa Basante, *Farmacia y mujer*, Madrid: {s.n.} 2000.

¹⁵⁰ Antonio Rumeu de Armas, *Historia de la previsión social en España: cofradías, gremios, hermandades, montepíos*, Madrid: revista de Derecho privado, 1944; *Ciencia y tecnología en la España ilustrada: la escuela de Caminos y Canales*, Madrid: Turner, 1980; *El científico mejicano José María de Lanz, fundador de la cinemática industrial*, Madrid: Instituto de España, 1983; *El Real Gabinete de Máquinas del Buen Retiro: origen, fundación y vicisitudes: una empresa técnica de Agustín de Betancourt*, Madrid: Castalia/Fundación Juanolo Turriano, 1990.

Poco a poco, los trabajos de Historia de la Ciencia se han ido introduciendo en las grandes obras lideradas por historiadores, como la *Historia de España de Ramón Menéndez Pidal*, dirigida por José María Jover Zamora (1920-2006)¹⁵¹, en la *Enciclopedia de Historia de España*, dirigida por Miguel Artola¹⁵² y ha tenido un hueco muy importante -por el amplio abanico de público a quienes iba dirigido- en las grandes exposiciones especializadas¹⁵³ y nacionales de estos últimos años, entre las que destacan las dirigidas por Carmen Iglesias¹⁵⁴, para acabar cristalizando en una presencia, espero que casi exhaustiva, en el *Diccionario Biográfico español*, publicado por la Real Academia de la Historia, en la redacción del cual hemos participado la casi totalidad de los historiadores de la Ciencia españoles y algunos hispanoamericanos.

¹⁵¹ José Luis Peset, Antonio Lafuente, "El conocimiento y el dominio de la naturaleza: la ciencia y la técnica", en José María Jover Zamora, (dir.) *Historia de España de Ramón Menéndez Pelayo, XXXI* La época de la Ilustración. El Estado y la Cultura (1759-1808)*, Madrid: Espasa-Calpe, 1987, p. 349-394.

¹⁵² José María López Piñero, Víctor Navarro Brotons, Eugenio Portela Marco, "La actividad científica y tecnológica", en Miguel Artola (dir.) *Enciclopedia de Historia de España*, Madrid: Alianza, 1988, Vol. 3, p. 273-326.

¹⁵³ Miguel Ángel Puig (coord.), *La Real Expedición Botánica a Nueva España*, Madrid: Ed. Comisión V Centenario/CSIC., 1987; José Manuel Sánchez Ron, Antonio Lafuente, Ana Romero, Leticia Sánchez de Andrés, *El laboratorio de España. La Junta para Ampliación de Estudios e Investigaciones Científicas 1907-1939*, Madrid: CSIC/Residencia de Estudiantes et alt., 2007; José A. Nájera, Antonio González Bueno (comisarios), *Malaria: exposición celebrada en la Biblioteca Nacional del 17 de marzo al 7 de junio de 2009*, Madrid: Biblioteca Nacional de España, 2009.

¹⁵⁴ Carmen Iglesias (coord.), *Carlos III y la Ilustración*, Madrid: Lumbert/Ministerio de Cultura, 1988; *Felipe II. Un monarca y su época*, Madrid: Sociedad Estatal para la conmemoración de los Centenarios de Felipe II y Carlos V, 1998; *El mundo que vivió Cervantes*, Madrid: Sociedad Estatal de conmemoraciones culturales, 2005. El interés en la Historia de la Ciencia de la autora se refleja no sólo en estas y otras exposiciones, también en su texto, citado con anterioridad y en *Paradigma de la naturaleza: Montesquieu, Rousseau, Comte*, Madrid: Fundación Juan March, 1983.