

**REAL ACADEMIA DE CIENCIAS  
EXACTAS, FÍSICAS Y NATURALES**

---

**DISCURSO INAUGURAL  
DEL AÑO ACADÉMICO 2019-2020**

**LEÍDO EN LA SESIÓN CELEBRADA EL DÍA 23 DE OCTUBRE DE 2019  
POR EL ACADÉMICO NUMERARIO**

**EXCMO. SR. D. JOSÉ ELGUERO BERTOLINI**

**SOBRE EL TEMA**

**¿PODEMOS LOS CIENTÍFICOS  
MEJORAR EL FUTURO?**



**MADRID  
DOMICILIO DE LA ACADEMIA  
VALVERDE, 22 - TELÉFONO 917 014 230**

[www.rac.es](http://www.rac.es)

2019

ISSN: 1138-4093  
ISBN: 978-84-87125-67-6  
Depósito Legal: M-33298-2019

# ÍNDICE

	<u>Páginas</u>
1. Introducción .....	9
2. Primer intervalo: Freud y Cajal .....	10
3. Segundo intervalo: setenta años de químico .....	12
4. El momento áureo .....	14
5. Predecir el futuro .....	19
6. Tres modelos .....	22
7. La relación de la química con la física .....	23
8. La novelista .....	24
9. El divulgador .....	26
10. El científico .....	27
11. Conclusiones .....	30
12. Referencias y notas .....	33

*Un país que solo está orgulloso  
de su pasado no tiene futuro*

## **1. INTRODUCCIÓN**

Excmo. Sr. Presidente, Excmas. Señoras Académicas, Excmos. Señores Académicos, Señoras, Señores, amigos todos:

Cuentan que una emisora de radio de California inició una serie de programas para animar a las personas mayores. Iban preguntando a celebridades qué tenía de bueno envejecer. Cuando le preguntaron a John Huston, este contestó: “Nada”. Aunque a mí me parece una respuesta razonable, considero que los ancianos tenemos “historia”, hemos vivido lo suficiente para tener muchos puntos en las series temporales y ser capaces de extrapolar, de predecir el futuro basándonos en nuestro largo pasado.

Entre la escritura de mi discurso de ingreso «Metodología de la investigación: los ejemplos de Cajal y de Freud», que entregué en el año 2000, y hoy han pasado casi 20 años. Pero es más: yo cursé el primer curso de la licenciatura en química en el edificio de San Bernardo de la Universidad Central en septiembre de 1951, es decir, hace sesenta y ocho años. Un pasado lo suficientemente amplio.

## 2. PRIMER INTERVALO: FREUD Y CAJAL

Desde aquel discurso del 2000 dos hechos relevantes han ocurrido. El primero, un grupo de eminentes neurólogos (Mark Solms, Antonio Damasio, Eric Kandel, entre otros) han trabajado para tratar de dar fundamento científico a las especulaciones de Freud en una disciplina que se ha dado en llamar neuropsicoanálisis [1]. El segundo está relacionado con lo que decía en mi discurso: “Entre las diferentes contribuciones y escritos de Freud, lo que más interesó a Cajal fue el análisis de los sueños. Es bien conocido el enorme interés que profesaba Cajal por sus propios sueños hasta el punto de anotarlos cada mañana al despertar y es trágico que sus libros sobre este tema se hayan perdido durante la guerra civil”. Pues bien en 2013, gracias a José Germain y a José Rallo, se recuperó una transcripción mecanografiada de ciento tres sueños de Cajal analizados por él mismo de los mil que dijo haber guardado [2]. Tres libros suyos se perdieron o fueron destruidos:

- *Ensayos sobre el hipnotismo, el espiritismo y la meta-psíquica* [3].
- *Los ensueños: críticas de las doctrinas explicativas de los mismos*.
- *Los sueños*. Este último es la continuación de lo que publicó en 1908 con el título “Las teorías sobre el ensueño” en la *Revista de Medicina y Cirugía de la Facultad de Madrid* (el artículo acaba con la palabra “continuará” [4].

Es de sobra conocido que Cajal siguió publicando hasta el año de su fallecimiento en 1934 (*El mundo visto a los 80 años* se publicó a título póstumo) así que la no publicación de la segunda parte de *Los sueños* no se debió a falta de vida [5].

Como revelan sus cartas a Marañón, el propósito declarado de Cajal era encontrar una explicación científica de los sueños que refutara la célebre propuesta de Freud [6]. Para ello empleó la misma metodología que le había permitido alcanzar el Premio Nobel en 1906, pero no habiendo logrado su objetivo decidió no publicar sus resultados. Muy influido por Yves Delage (1854-1920) [7,8], dedicó mucho tiempo en la octava década de su vida a anotar y reflexionar sobre sus sueños.

Hay tres aspectos que Cajal excluye en el análisis de sus sueños: su terrible antagonismo con su padre, su sexualidad y su temor a la vejez y a la muerte. Cajal nunca perdonó a don Justo Ramón Casasús que tuviese un hijo natural quince años antes de que su madre, Antonia Cajal y Puente, falleciese, hasta tal punto que estuvo muchos años sin ir a Zaragoza (escribe en su comentario al sueño “Opositor en Zaragoza”, “Desear ir a Zaragoza, donde pude ir hace tiempo y no fui”).

El segundo aspecto queda ilustrado con la escultura de Victorio Macho inaugurada en 1926 en el Paseo de Venezuela del Parque del Retiro (Figura 1). Dicho monumento no fue del agrado de Cajal, que comentó irónicamente al verlo: “Yo nunca me he desnudado ante ningún hombre” [9], en alusión a la túnica que deja su pecho al descubierto. Pese a todo, la escultura fue inaugurada en el año 1926 por el Rey Alfonso XIII, en un gran acto oficial al que Cajal no asistió. Su disgusto fue tal que Cajal que vivía al lado del Retiro nunca volvió a su parque favorito donde acudía con frecuencia a estudiar las hormigas [10] y donde está el Cerro de San Blas, primera sede del Instituto Cajal [11].

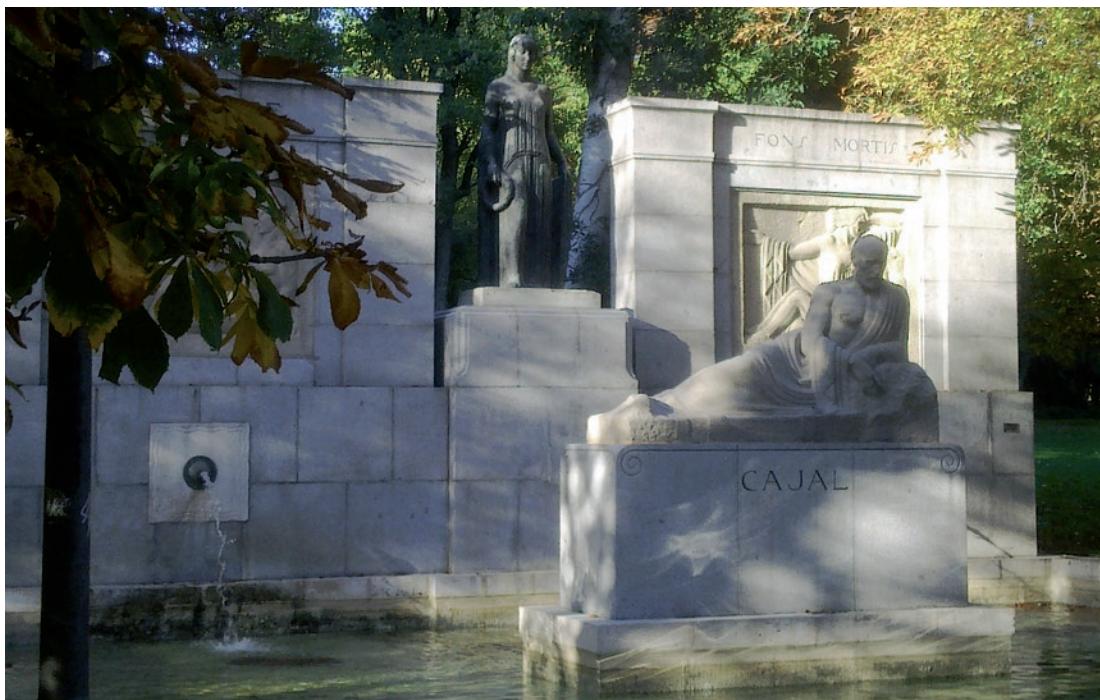


Figura 1. Monumento a Santiago Ramón y Cajal (foto del autor).

El pudor de Cajal era extremo, no obstante ciertos comportamientos de los que no estaban exentos ni los más eximios varones de la época. Mis abuelos lo conocían bien pues vivían cerca, iban al Ateneo, y Cajal había analizado las Aguas de Carabaña de los Chávarri (Figura 2).



El tercer aspecto, su temor a la vejez y a la muerte, es común a todos los ancianos. Tiene relación con el monumento de Victorio Macho antes citado ya que consta de dos fuentes a los lados, decoradas con sendos relieves cuadrangulares. Representan la *Fuente de la Vida* (*Fons Vitae*, reza la inscripción) y la *Fuente de la Muerte* (*Fons Mortis*). Ambos relieves muestran la alegría de una familia por el hijo recién nacido y la pena de una mujer por un hombre muerto. El deterioro mental de la senilidad nos afecta o afectará a todos los que viven muchos años. Para Cajal que consideraba el cerebro como una obra de arte, y que escribió “Todo hombre puede ser, si se lo propone, escultor de su propio cerebro”, el miedo a su deterioro aparece en multitud de sus sueños. El del 26 de mayo de 1934 (Cajal fallece el 17 de octubre de ese año) se llama “Vuelta al laboratorio abandonado” (nº 46).

Figura 2. El análisis de Santiago Ramón y Cajal.

### 3. SEGUNDO INTERVALO: SETENTA AÑOS DE QUÍMICO

Del segundo intervalo, aquel que corresponde a mis casi setenta años de químico, se me ocurre que si mi director de tesis (Robert Jacquier, 1923-2009) o incluso su director (Max Mousseron, 1902-1988, uno de los primeros directores de la empresa farmacéutica SANOFI) resucitaran hoy tardarían unos pocos días en entender la química que hacemos en la actualidad. Ambos usaron la espectrometría de masas y la resonancia magnética nuclear, que siguen siendo las dos más potentes técnicas instrumentales de hoy. Ambos conocieron a los grandes químicos teóricos franceses, Raymond Daudel (1920-2006), Bernard Pullman (1919-1996) y Alberte Pullman (1920-2011) aunque no hubieran podido imaginar hasta dónde han llegado sus sucesores.

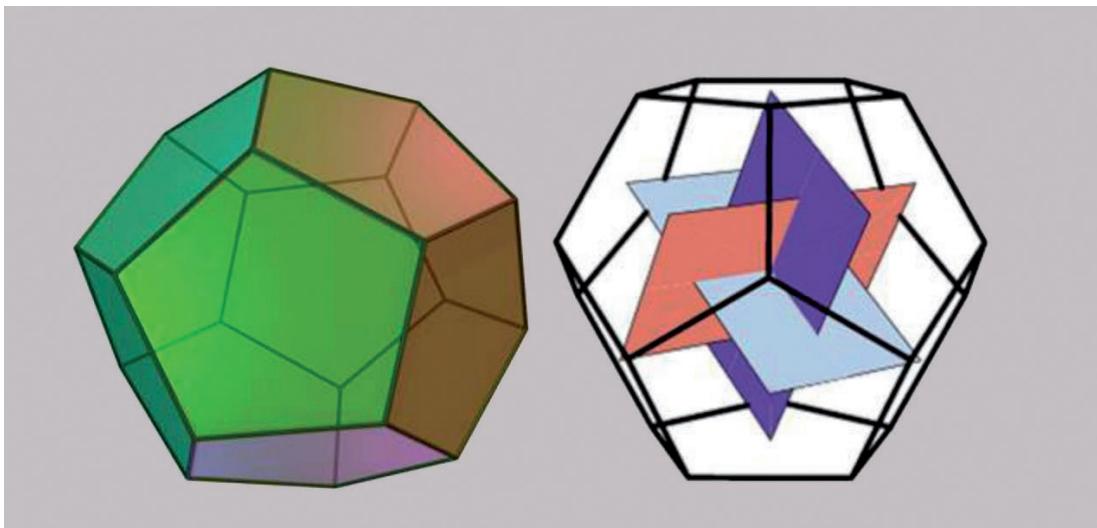
Eran químicos orgánicos, Mousseron más interesado en los productos naturales y en el análisis conformacional (era muy amigo de Derek Barton (1918-1998, Premio Nobel de Química 1969 por sus contribuciones a la conformación de las moléculas), Robert Jacquier en la síntesis y propiedades farmacológicas de los heterociclos. Este último estaba en plena actividad hasta al menos 1990; si se miran los Premios Nobel en Química desde esta fecha hasta hoy se obtiene la Tabla 1.

**Tabla 1. PREMIOS NOBEL DE QUÍMICA** (en negrita, los cuatro correspondientes extranjeros de la RACEFyN)

AÑO	TEMA	LAUREADOS
1990	Síntesis asistida por ordenador	Corey
1991	RMN	Ernst
1992	Transferencia de electrones	Marcus
1993	PCR	Mullis, Smith <sup>†</sup>
1994	Carbocationes	Olah <sup>†</sup>
1995	Capa de ozono	Crutzen, <b>Molina</b> , Rowland <sup>†</sup>
1996	Fullerenos	Curl, <b>Kroto</b> <sup>†</sup> , Smalley <sup>†</sup>
1997	Mecanismos enzimáticos	Boyer <sup>†</sup> , Walker, Skou <sup>†</sup>
1998	Química teórica	Kohn <sup>†</sup> , Pople <sup>†</sup>
1999	Espectroscopía de femtosegundos	<b>Zewail</b> <sup>†</sup>
2000	Polímeros conductores	Haeger, MacDiarmid <sup>†</sup> , Shirakawa
2001	Hidrogenación quiral catalizada	Knowles <sup>†</sup> , Noyori, Sharpless
2002	Espectrometría de masas y RMN de biomoléculas	Fenn <sup>†</sup> , Tanaka, Wütrich
2003	Canales en membranas	Agre, MacKinnon
2004	Ubiquitina	Ciechanover, Hershko, Rose <sup>†</sup>
2005	Metátesis en síntesis orgánica	Chauvin <sup>†</sup> , Grubbs, <b>Schrock</b>
2006	Transcripción eucariota	Kornberg
2007	Química en superficies	Ertl
2008	Proteína fluorescente verde (GFP)	Shimomura <sup>†</sup> , Chalfie, Tsien <sup>†</sup>
2009	Estructura y función del ribosoma	Ramakrishnan, Steitz <sup>†</sup> , <b>Yonath</b>
2010	Reacciones de acoplamiento cruzado catalizadas por Pd	Heck <sup>†</sup> , Negishi, Suzuki
2011	Cuasicristales	Shechtman
2012	Receptores acoplados a proteínas G	Lefkowitz, Kobilka
2013	Modelos moleculares complejos	Karplus, Levitt, Warshel
2014	Microscopía de fluorescencia de alta resolución	Betzig, Hell, Moerner
2015	Mecanismo de reparación del ADN	Lindahl, Modrich, Sancar
2016	Maquinas moleculares	<b>Sauvage</b> , Stoddart, Feringa
2017	Microscopía crio-electrónica	Dubochet, Frank, Henderson
2018	Enzimas, péptidos y anticuerpos	Arnold, Smith, Winter
2019	?	?

De los 67 premiados desde 1990, son (o han sido) correspondientes extranjeros nuestros seis. No se puede decir que abusemos del prestigio del premio para elegir nuestros académicos extranjeros.

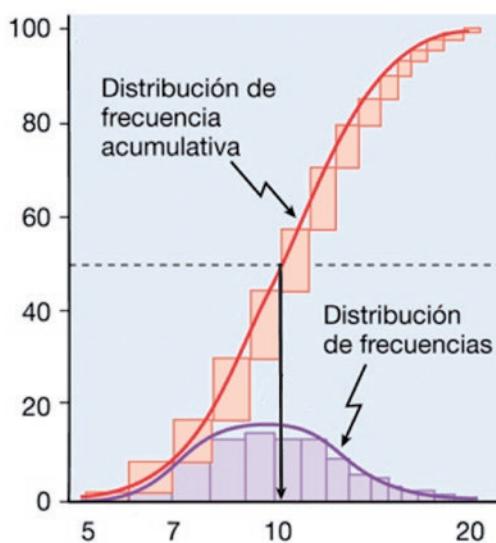
¿Qué pensaría Robert Jacquier de esos Premios Nobel? No le extrañaría nada que haya muchos en la interfaz química-biología (exactamente doce de veintinueve: 1993, 1997, 2002, 2003, 2004, 2006, 2008, 2009, 2012, 2013, 2015, 2018). Se interesaría mucho por las nuevas técnicas de observación (cuatro: 1991, 1999, 2014, 2017) pero no por sus fundamentos sino por sus aplicaciones. Como muchos, se preguntaría ¿para qué me pueden servir? ¿Qué problema tengo que me ayudarían a resolver? No crean que esa actitud filistea ha desaparecido. La mayoría de los químicos de hoy usan la RMN y la espectrometría de masas con unos conocimientos limitados de sus fundamentos físicos (lo poco que recuerdan de algún curso de la carrera). No solo lo ignoran, no les interesa. Se limitan a los desplazamientos químicos y unos pocos a las constantes de acoplamiento. Claro que hay excelentes espectroscopistas en España.



**Figura 3.** La estructura del clúster de 20 moléculas de agua formando un dodecaedro pentagonal basado en la razón áurea.

## 4. EL MOMENTO ÁUREO

Antes de discutir cómo imaginarían el futuro una novelista, un divulgador y un científico, me gustaría abordar el problema del momento áureo. No solo los matemáticos conocen el fascinante número áureo o razón áurea  $\phi = (1 + \sqrt{5})/2$  (Figura 3), ya que aparece en todas las bellas artes (escultura, arquitectura, pintura, cine, música) así como en la naturaleza (plantas, caracoles, seres humanos) [12]. Pretendemos aquí introducir, con la debida humildad, el **momento áureo** definido como **el momento en el que el conocimiento de un tema determinado alcanza el 50%**, es decir que después de ese momento queda menos por descubrir que lo ya descubierto. La mitad es pues el cenit, la edad de oro. A partir de ese momento algunos autores creen que empieza el declive, en particular y en lo que nos atañe, el declive de la ciencia.



**Figura 4.** Hipotética distribución normal y distribución de frecuencias acumulativa.

testar. Otro ejemplo, este más cercano. En paleontología ¿quedan más especies por descubrir que las ya descubiertas? Es decir ¿estamos aún antes del momento áureo? Pero, ¿y si en lugar de especies decidimos contar individuos, o huesos? Un ejemplo más. Los records de atletismo. Por definición, solo pueden aumentar. En categoría masculina entre alrededor de 1930 y alrededor de 1990, el de altura ha pasado de 2,07 a 2,45 m, el de longitud de 7,98 a 8,95 m, el de pértiga de 4,39 a 6,14 m. Muchos no mejoran desde esa época. El de 100 m lisos es más reciente ya que ha pasado de 10,3 en 1935 a 9,58 s en 2009. Mejorarán pero cada vez en cantidades más pequeñas. ¿Podemos deducir que la edad de oro del atletismo ya ha pasado? Recuerden que se han calculado los límites de las diferentes pruebas usando mecánica clásica (altura 2,50 m, longitud 9,25 m, 100 m lisos 9,45 s): como ven los atletas están cerca del máximo.

Dado que el Universo es finito su conocimiento tiene un día que llegar a ser del 50%. Pero según definamos el conocimiento puede resultar algo tan gigantesco que escape a la duración de vida de la humanidad. Si lo reducimos a la Tierra, pasa igual.

Cuando los físicos consigan una “teoría del todo”, ¿qué quedará por descubrir? ¿Solo las aplicaciones? [13]. Cuando los biólogos lleguen a establecer todos los mecanismos que tienen lugar en los seres vivos, incluido el cerebro humano, ¿habrá llegado el final de su saber?

**¿Estamos en este momento viviendo el final de la edad de oro de la ciencia?**

Nos referimos a las ciencias experimentales. Dejamos a los matemáticos decidir si su dominio está también acotado. Pero si como decía Galileo [14] el libro de la naturaleza está escrito en lengua matemática, entonces si el libro se completa eso tendrá un efecto sobre las matemáticas [15,16].

Algunos autores como Stent (Figura 5) [17] y Horgan (Figura 6) [18] han preferido discutir el final de la ciencia. A mí me parece que es un error porque la ciencia nunca acabará o al menos aun quedará ciencia cuando ya no queden seres humanos (ver Figura 4). Esa elección ha facilitado la respuesta de Maddox *Lo que queda por descubrir* [19], que seguiría siendo válida aunque la ciencia ya hubiese empezado a declinar.

El libro de Stent es de 1959 y hoy día está un poco olvidado [17]. Sin embargo está lleno de ideas originales, algunas corresponden a lo que ya hemos comentado. “Progress is self-limiting” (“el progreso es autolimitador”), escribe Stent en el sentido que cuanto más deprisa se avanza en el saber menos queda por descubrir. Basándose en la ley de aceleración de Henry Adams [20] y asumiendo que el saber se duplica cada generación [21], Stent calcula que el “punto de equivalencia” [22] se alcanzará en 2160 y, aunque fuese mucho menor que doblar, se alcanzará en unos pocos siglos.

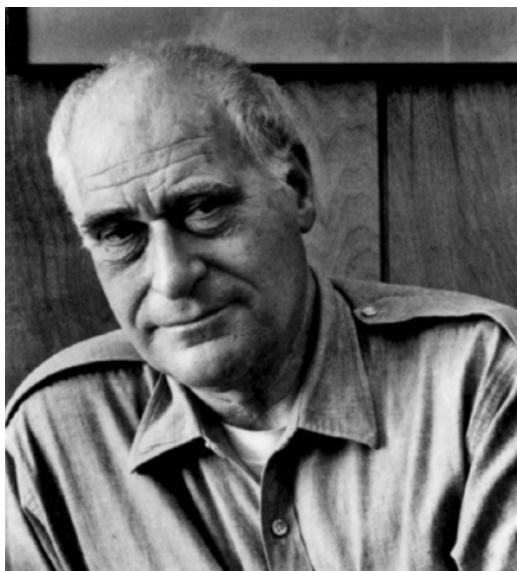


Figura 5. Gunther S. Stent

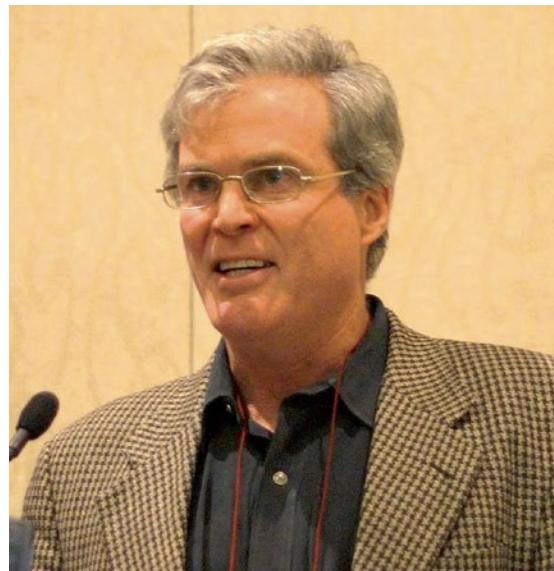
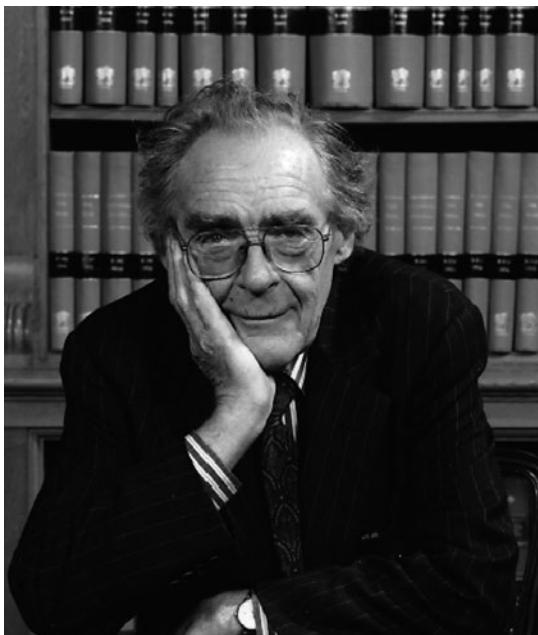


Figura 6. John Horgan

El libro de John Horgan de 1996 [18] tuvo mucho éxito y aún hoy día es digno de lectura. En realidad, aunque se llame *El fin de la ciencia* se refiere al declive de la era científica como dice el título completo. Campo por campo, progreso, filosofía, física, cosmología, evolución, neurociencia, inteligencia artificial, caos, etc., y con entrevistas a los grandes nombres de su tiempo (David Bohm, Gregory Chaitin, Noam Chomsky, Francis Crick, Paul Davies, Richard Dawkins, Freeman Dyson, Richard Feynman, Murray Gell-Mann, Sheldon Glashow, Fred Hoyle, Thomas Kuhn, Benoit Mandelbrot, Marvin Minsky, Roger Penrose, Karl Popper, Steven Weinberg, John Wheeler, Edward O. Wilson, Edward Witten [23]) ha construido su relato. Vistos esos nombres, inevitablemente aparece el “argumento de autoridad” [24].

El libro de Horgan llevó a Maddox a escribir el antes mencionado *Lo que queda por descubrir* [19]. Sir John Royden Maddox (Figura 7, 1925-2009) fue editor de la revista *Nature* durante veintidós años y debido a ello ejerció una enorme influencia sobre la ciencia mundial dado que las administraciones públicas decidieron que publicar en *Nature* (o en su rival, *Science*) era el mejor criterio para juzgar a un científico [25,26]). Criticar por mi parte su libro sería comportarse como esos críticos de voz aguardentosa que escriben “la Callas no ha tenido hoy su mejor día”.

El principal problema del libro de Maddox es que es de 1998, es decir, que data de hace veintidós años y que ha envejecido mucho [27]. Contiene algunos errores debidos a descubrimientos ulteriores tales como que la expansión del Universo se está desacelerando [28], la radiación cósmica de microondas es isótropa [29], la edad del Universo está entre 7,5 y 11,5 billones de años (billones USA; hoy se estima a 13,8 billones), los neutrinos no tienen masa [30], etc.



**Figura 7.** Sir John Royden Maddox

Más que una predicción del futuro es un catálogo de lo que queda por explicar. Recuerda que lo que queda por descubrir no es lo mismo que lo que será descubierto. Escribe que en este momento cuelgan delante de nuestros ojos los hilos de un futuro tejido que no sabemos ver (si lo supiéramos, seríamos buenos candidatos al Premio Nobel).

En un capítulo de 11 páginas de un libro de 415 llamado *What lies ahead*, Maddox da algunas pistas de cómo concibe el futuro. Se pregunta si se podrán construir ordenadores basados en el principio de incertidumbre de Heisenberg [31]; habla de cuando funcione el LIGO (recordemos la frase de Frederic William Maitland “We should always be aware that what now lies in the past once lay in the future”) [32]; de que es más fácil

medir con precisión el punto de ebullición del agua (373,2 K a presión normal) que calcularlo teóricamente (sigue siendo verdad [33]).

Me voy permitir insistir sobre un aspecto epistemológico porque está presente en todas las discusiones sobre el final de la ciencia. Para juzgar si ya estamos en un periodo de decadencia es necesario definir cuáles son los grandes descubrimientos científicos y ordenarlos. Será como un cono o mejor como discos empilados en tamaño decreciente sobre el mayor que servirá de base [34]. Cuanto más cerca del vértice se elijan los grandes descubrimientos más difícil será en el futuro encontrar alguno similar y, por ende, la ciencia decaerá. Pongamos que los grandes descubrimientos son las leyes de Mendel (**Mendel**), el darwinismo (**Darwin**), el electromagnetismo (**Maxwell**), la termodinámica (**Boltzmann-Gibbs**), la estructura y papel del ADN (**Watson-Crick**), el código genético (**Crick-Brenner-Ochoa**), la teoría general de la relatividad (**Einstein**) y la mecánica cuántica (**Planck, Einstein, Schrödinger, Heisenberg**). Es importante que sean debidos a un número restringido de autores. Seguro que otros pensarán que he olvidado alguna (o que alguna no merece estar en la punta), en todo caso esas son las que algunos piensan insuperables, piensan que nada tan importante será descubierto nunca [35].

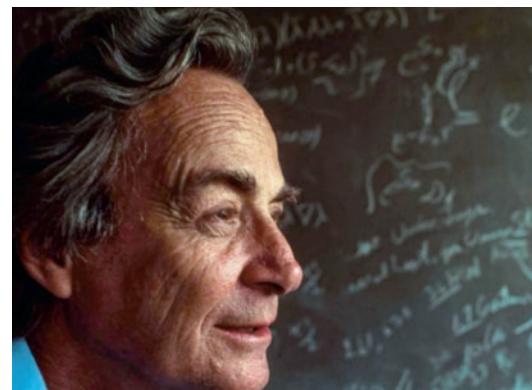
No crean que el pesimismo sobre el futuro de la humanidad, sobre su progresivo declinar es solo cosa de filósofos (José Ortega y Gasset, Emilio Lledó, etc.) ya que algunos grandes científicos han expresado sentimientos similares [36]. Permítanme que cite solo a dos.

Ilya Prigogine (Figura 8, Premio Nobel de Química, 1977): “En realidad, la ciencia está descubriendo el tiempo, y en cierto sentido esto marca un final a la concepción clásica de la ciencia, ¿marcará un final de la ciencia propiamente dicha?”

Richard Feynman (Figura 9, Premio Nobel de Física, 1965): “Somos afortunados de vivir en una época en la que seguimos haciendo descubrimientos. Es como el descubrimiento de América –solo se descubre una vez–. La época en la que vivimos es la época en la cual estamos descubriendo las leyes fundamentales de la naturaleza, y **ese día nunca volverá** [37]. Naturalmente en el futuro habrá otros intereses. .... pero no serán las mismas cosas que hacemos ahora”.



**Figura 8.** Ilya Prigogine



**Figura 9.** Richard Feynman

Una última salvaguarda. Hay problemas irresolubles (no en el sentido de Gödel-Turing) que no deben ser considerados como una parte del libro de la naturaleza: ¿hay un número infinito de universos?, ¿cómo calcular *ab initio* las constantes universales?, la velocidad de la luz en nuestro Universo ¿es la única posible para un Universo estable?, ¿hay seres inteligentes demasiado lejos, fuera del cono de luz? [38,39], ¿existe el inconsciente?, ...

## 5. PREDECIR EL FUTURO

Las certezas que nos dan las leyes físicas no permiten predecir el futuro, solo Laplace creía que eso era, al menos teóricamente, posible [40]. Por ello los humanos vivimos en un universo probabilista. Constantemente hacemos predicciones sobre lo que va a acontecer. Algunas las convertimos en apuestas. La mayoría nos ayudan a vivir. No es una actividad propia de matemáticos, ni siquiera de científicos. Todos los humanos en todos los tiempos las hemos usado y las vamos a seguir usando. Nuestro comportamiento es función de esas predicciones, desde las más triviales (coger el paraguas) hasta las más elaboradas (¿cuándo celebrar elecciones para obtener el mejor resultado?).

Los científicos las usamos como los demás humanos que somos y como científicos. Es ese segundo aspecto el que nos interesa hoy. A su vez podemos considerar dos variantes; como metaciencia (debemos investigar en un tema de trabajo con la esperanza de que sea muy importante en el futuro) y como ciencia (cuál es el futuro de nuestra disciplina). Tampoco son los aspectos metacientíficos (¿oportunistas?) los que me interesan hoy aunque sean determinantes para las carreras profesionales. Lo que me parece apasionante y socialmente relevante es contestar a preguntas tales como **¿cómo será mi disciplina dentro de cien años?, ¿qué ciencia hacer hoy que modifique el mundo futuro?**

Hay autores que niegan que pueda predecirse el futuro. El más popular hoy día es Nassim Nicholas Taleb (Figura 10) cuyos dos libros *The black swan* [41,42,43] y *Antifragile* [44,45] se basan en que el futuro es impredecible como lo eran los cisnes negros antes de que se descubrieran en Australia. En un ataque frontal a la distribución normal y a la curva de Gauss, Taleb escribe que lo normal no es interesante, que creemos saber mucho más que lo que realmente sabemos y que la predicción requiere conocer metodologías que aún no se han descubierto. Ergo, no podemos conocer lo que conoceremos.

Taleb cita como ejemplo de cisne negro el descubrimiento de la penicilina al que considera un caso perfecto de serendipia [46]. Según él, aunque Alexander Fleming estaba buscando “algo” lo que descubrió fue puramente casual e incluso tardó mucho en ser reconocida su importancia [41]. De ahí que fuese imposible predecir el descubrimiento de los antibióticos y,



**Figura 10.** Nassim Nicholas Taleb



**Figura 11.** Sir Alexander Fleming.

en consecuencia, que todo intento de predecir el futuro esté condenado al fracaso. Más aún, no tiene sentido hacer política científica porque los descubrimientos importantes surgen al azar.

¿Cómo lo vemos nosotros? En primer lugar, los antibióticos no supusieron una revolución en biología molecular, como poner el pie en la Luna o dentro de poco en Marte no cambiaron ni cambiarán las leyes de la física. Muchos grandes medicamentos, por ejemplo el ibuprofeno, se descubrieron por el método menos serendipio posible, probando cientos de sustancias.

Se ha escrito que si Fleming (Figura 11) no hubiese descubierto la penicilina en 1928 cientos de millones de personas hubiesen muerto prematuramente (en particular los heridos de la Segunda Guerra Mundial) ya que lo único que tendríamos serían súper-sulfamidas [47]; los autores olvidan las quinolonas antibacterianas como la ciprofloxazina [48].

La realidad es mucho más compleja [49]. Fleming, que ya había descubierto la lisozima en 1922 (un medicamento menor pero importante en la industria alimentaria), buscaba un antibacteriano contra la gripe (el descubrimiento de que se trata de una enfermedad viral es posterior al de la penicilina) y en una historia célebre pero muy probablemente embellizada descubrió por casualidad que una rara variante del moho *Penicillium notatum* (luego llamado *Penicillium chrysogenum*) destruía las colonias de *Staphylococcus aureus*, una bacteria Gram-positiva.

Se ha dicho (y eso es la base del efecto “cisne negro”) que si Fleming no hubiese “tenido la suerte de una contaminación accidental” y no hubiese sido un genio nadie hubiese descubierto los antibióticos naturales. Pero eso no es cierto, ya en 1876 John Tyndall (el físico irlandés conocido por el efecto que lleva su nombre y por sus trabajos sobre el efecto invernadero) señaló que el *Penicillium* destruía las bacterias. En 1877 Pasteur y Joubert publicaron que organismos transportados por el aire impedían el desarrollo de las bacterias del antrax, el *Bacillus anthracis*. En 1920, los doctores André Gratia y Sara Dath, trabajando en el Instituto Pasteur de Bruselas, hicieron una observación idéntica a la de Fleming [50] pero no fueron más allá (cosa que Gratia nunca se perdonó) [51].

### **Tres comentarios más sobre la historia de la penicilina.**

Parece claro que el descubrimiento del primer antibiótico natural no influyó mucho sobre el progreso de la ciencia. Si lo comparamos al bosón de Higgs no hay duda de quién va a cambiar la historia de la ciencia, tema principal de estas reflexiones. Como son campos muy alejados parece que aunque los antibióticos salvan miles de vidas cada día y el bosón de Higgs ninguna no deben entrar en concurrencia. Pero el legislador, con sus limitados recursos, puede tener que decidir si invertir en el CERN o en investigación biomédica.

En segundo lugar, recordemos el papel de Sir Howard Florey y Sir Ernst Chain, las otras dos personas que recibieron el Premio Nobel en Fisiología y Medicina en 1945. Para las personas presentes en esta sala es algo muy conocido, pero para el público en general ¿quién ha oído hablar de Florey o de Chain? A principio de 1938, es decir diez años después del

descubrimiento de Fleming, es cuando Chain encontró su publicación y se puso a trabajar en el aislamiento de la penicilina. Hay que recordar que se suponía que el principio activo de la penicilina era una enzima, como la lizosima, o un bacteriófago. Nadie imaginaba que podía ser una sustancia química de bajo peso molecular que le confería al hongo una ventaja selectiva en su competición con las bacterias para su fuente de alimentación.

Finalmente, a propósito de Taled, sus cisnes negros y su anti-fragilidad [41,44], mi predicción será que más que una contribución importante a la epistemología su fama será perecedera. Creo que ha cometido el error del que nos ha prevenido Sherlock Holmes [52], y habiendo creado una teoría según la cual solo los descubrimientos casuales son importantes, ha intentado encontrar ejemplos que se ajusten a su teoría, deformándolos cuando era necesario.

En el fondo, descubrimientos inesperados se producen a millares pero solo unos pocos tienen consecuencias importantes. ¿Es que hay cosas importantes que se pudieron descubrir en el pasado (¡que no necesitan el telescopio Hubble!) y que se han perdido porque no encontraron su Fleming? Probablemente perdido en una publicación se encuentra algo que contiene una información valiosa pero ¿cómo encontrarlo?

## 6. TRES MODELOS

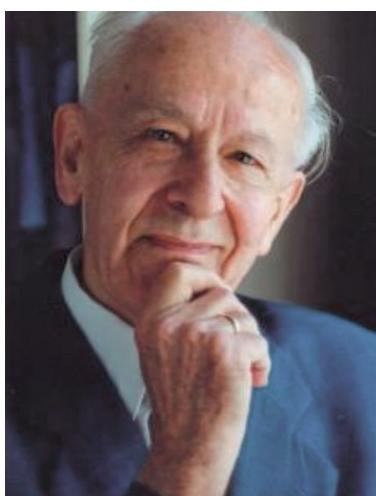
Una manera de abordar esas cuestiones es examinando cómo las han tratado tres tipos de intelectuales: los escritores de ciencia ficción, los grandes divulgadores y algunos científicos relevantes.

El novelista carece de los conocimientos del divulgador profesional y, aún más, de los del científico. Pero no tiene el corsé de estos y eso le permite ser mucho más audaz. Su futuro imaginario no debe contradecir ninguna ley física (como ocurre en las fantasías) pero puede permitirse bastantes libertades rozando con la fantasía: vehículos que levitan, velocidades quasi-lumínicas, teleportación, comunicaciones mente-a-mente, razas inteligentes no humanas, etc.

El divulgador tiene que ser riguroso pero al abarcar tantos campos se permite, voluntaria o involuntariamente, algunas libertades, algunos atrevimientos. Sus lectores científicos conocen unos pocos campos y eso les llevará a algún fruncimiento del ceño pero desean una visión global y le perdonarán esas desviaciones.

El científico debe ser riguroso ya que será juzgado por sus pares que buscan audacia dentro del rigor. Será probablemente el más cauto tanto en los objetivos como en la duración (más “cortoplacista”). Le preocupa mucho más que a los precedentes equivocarse aun cuando la equivocación solo sea evidente “post-mortem”.

He elegido una persona para cada caso y en eso soy arbitrario. Como escritor, a Rosa Montero y su trilogía de Bruna Husky [44,45,46], Madrid 2109-2110, porque Rosa Montero tiene un buen conocimiento de la ciencia. Como divulgador, a Yuval Noah Harari y su libro de 2016 *Homo Deus: Breve historia del mañana* [47]. Harari es bien aceptado por los científicos (mucho menos por los filósofos), yo he oído en esta Academia contar como novedoso cosas de sus primeros libros: copiar es una manera de reconocer el valor de algo. Como científico, he elegido a Georges Whitesides con algunas apostillas de quien les habla.



**Figura 12.** Rolf Huisgen

Casi todo el mundo conoce a Montero y a Harari pero solo (o casi solo) los químicos sabemos quién es Whitesides. Permítanme una pequeña digresión en este momento para hablarles de los Premios Nobel, tanto de quienes lo merecen y no lo obtienen como de quienes lo han obtenido sin merecerlo [48]. Los segundos son fáciles de detectar, el paso del tiempo se encarga de ello, y de entender las razones (sesgos raciales, nacionales, de género). Los primeros no se pueden demostrar ya que tienen una componente subjetiva. Para mí hay dos grandes químicos, aún vivos, que se lo merecen, uno es el alemán Rolf Huisgen (Figura 12, nacido en 1920, tenía 25 años en 1945), el otro el estadounidense George Whitesides (nacido en 1939). A Huisgen es muy improbable (de probabilista) que se lo den; a Whitesides que este año cumple 80 años aún puede suceder y, ojalá, suceda.

## 7. LA RELACIÓN DE LA QUÍMICA CON LA FÍSICA

Hay otro aspecto que, siendo común a todos, debe de ser tratado aquí. Se trata de la relación de la química con la física. El gran Paul Dirac escribió: “Las leyes subyacentes necesarias para la teoría matemática de una buena parte de la física y de **toda la química** son entonces completamente conocidas, y la dificultad es solo que las aplicaciones exactas de esas leyes nos conducen a ecuaciones mecánico-cuánticas que son demasiado complejas como para ser solubles”. Esta concepción llevó a John Horgan [18], basándose en el libro de Gunther Stent [17], a escribir que “ciertos campos de la ciencia, arguye Stent, están limitados sencillamente por los propios límites del sujeto. Nadie considerará que la anatomía humana o la geografía, por ejemplo, tengan tareas infinitas. La química, también está acotada. Bien que el número total de reacciones químicas posibles es muy grande y la variedad de reacciones que pueden experimentar vasto, el objetivo de la química de entender los principios que gobiernan el comportamiento de las moléculas es, como el objetivo de la geografía, claramente limitado. Dicho objetivo se alcanzó probablemente en los años 30 del siglo pasado cuando Linus Pauling estableció que todas las interacciones químicas se pueden explicar en términos de mecánica cuántica [58]”.

La importancia del tema merece algunas consideraciones personales.

**Postulado.** Toda la física que la química necesita es conocida, tanto la termodinámica como la mecánica cuántica. La tercera gran aventura de la humanidad, la relatividad general, no va influir en la química aunque hagamos correcciones relativistas cuando calculamos elementos pesados.

**Corolario.** La física que falta por conocer para alcanzar la teoría del todo (materia y energía oscura, gravedad cuántica, por ejemplo) no tendrá efecto sobre la química.

**Contradicción aparente.** Lo que sí tendrá un enorme efecto sobre la química son los instrumentos de medida basados en descubrimientos físicos no comprendidos en el postulado. Técnicas como la RMN- $\beta$  [59] o la RMN de muones [60] son ejemplos recientes.

Que todas las reacciones, transformaciones, interacciones y propiedades físicas de la química obedezcan las leyes de la física es una certeza absoluta. ¿Quiere ello decir que toda la química es una rama de la física? [61].

## 8. LA NOVELISTA

Rosa Montero (Figura 13) en el último libro de su trilogía [55] da las gracias a los científicos que han verificado la ausencia de errores de bulto en su manuscrito. Usa de una inteligente manera la predicción del futuro (recuerden que predice el mundo y, en particular, España dentro de noventa a cien años), basada en cosas que “casi existen” y asumiendo que tendrán éxito (ver [62]). Por ejemplo, es como si yo imaginara un futuro en el que la fusión nuclear funcionara perfectamente y la humanidad gozase de una fuente de energía barata, inagotable y limpia. Eso exige menos imaginación. Es casi como una apuesta. En el caso del mundo de Bruna Husky, por los ascensores espaciales que unen una estación espacial en una órbita geosíncrona con un cable de 35.786 km de largo que llega hasta el suelo. O las baterías de positrones y otras cosas incipientes.



Figura 13. Rosa Montero

En la tabla siguiente he reunido los temas de ciencia ficción según su naturaleza.

Tabla 2. EL MUNDO EN 2110 SEGÚN ROSA MONTERO

CAMPO	SUJETO	COMENTARIO
Física	Teleportación de personas	Muy improbable
	Luz densa	Inexistente
	Hologramas que ven	Muy improbable
	Materiales flotantes	Probable
	Chips de cloruro sódico	Extrapolación
	Plasma negro	Inexistente
	Rayos T integrados	Inexistente
	Baterías de positrones	Probable
Ingeniería	Viajes fuera del sistema solar	Muy improbable
	Granjas marinas abisales	Posible
	Tranvías aéreos	Posible
	Cuchillos láser	Inexistente
	Cintas rodantes	Posible
	Estaciones espaciales <sup>a</sup>	Muy improbable
	Pistolas de plasma	Inexistente
	Ascensores espaciales 36.000 km	Muy improbable
Biología	Androïdes (células madre)	Muy improbable
Medicina	Memorias implantadas	Muy improbable
	Cirugía biónica	Existe
	Implantes robóticos <sup>b</sup>	Posible
	Extraterrestres en la Tierra	Muy improbable
	Bacterias semiartificiales	Posible
	TGC fluorado	Existe no fluorado
	Curación personas irradiadas	Dudoso

Química	Árboles artificiales con captura de CO <sub>2</sub>	Possible
Materiales	Basalto sintético	Possible
Medicinas	Oro: proceso químico secreto	Dudoso
	Celadium: nuevo mineral	Analogía aleación de acero
	Alacrilato	Analogía con metacrilato
	Metacrileno	Analogía con metacrilato
	Tirix	Aleación inexistente
	Dermodisolvente	Razonable
	Dermosilicona	Razonable
	Bioglue	Razonable
	Trinalina	Inexistente
	Diplomórficos contra el dolor	Analogía con opioides
	Tetrapancuronio	Analogía con pancuronio

<sup>a</sup> ¡600 millones de habitantes!

<sup>b</sup> Y sus límites, cf. Harari [56]

Es evidente que el mundo dentro de cien años que imagina Rosa Montero está limitado por la decisión natural de que sea interesante para sus lectores. Eso la lleva a imaginar cosas altamente improbables (teleportación, extraterrestres, gigantescas estaciones espaciales) y a no profundizar en cosas más probables pero menos dramáticas.

Por disciplinas, lo esencial se refiere a los aspectos biológicos y médicos ya que el personaje de Bruna Husky ha sido creado a partir de células madre (¡de la propia Rosa Montero!). Luego sigue la física y la ingeniería. La química es vista a partir de sus dos vertientes más populares: medicamentos (en la interfaz con medicina) y materiales (en la interfaz con física).

Como primera aproximación, Rosa Montero, de 65 años, escribe como será el mundo dentro de 95 años. Es decir, uno predice el futuro en función del tiempo que ha vivido. Una vida humana, incluso muy larga, es demasiado corta para predecir un futuro lo bastante lejano para ser interesante.

Antes de pasar al próximo punto recordemos que el tema de los escritores visionarios (Verne, Shelley, Wells, Huxley, Bradbury, Clarke, Asimov,...) ha dado lugar a una enorme bibliografía. Conviene recordar dos aspectos. El primero es que junto a predicciones acertadas hay muchas erróneas que se olvidan. Así Julio Verne en su obra póstuma de 1914 *La impresionante aventura de la misión Barsac* describe las “avispas”, torpedos teledirigidos usados como armas de guerra que recuerdan a los “drones” (los VANT), pero también sistemas de espejos como medio de vigilancia (véase también “El castillo de los Cárpatos” de 1892 para el uso de espejos para transmitir imágenes). El segundo es que la ciencia-ficción, en palabras de su creador Hugo Gernsback, se ocupa mucho más de tecnología que de ciencia [63]. Ello se debe a que es mucho más difícil predecir avances en ciencia que en tecnología y que es más entretenido ir a un mundo de imaginarios avances tecnológicos que a uno donde se haya resuelto el teorema del área de Hawking.

## 9. EL DIVULGADOR

Como ya hemos dicho, vamos a resumir el libro *Homo Deus: Breve historia del mañana* de Yuval Noah Harari (Figura 14) [56]. Se trata de unas predicciones muy audaces aunque el libro trata más del pasado y del presente (conocidos) que del futuro (por conocer). Considera controladas hambre, plagas y guerra, recuerda que fallece más gente por suicidio que por soldados, terroristas y criminales combinados. Si estamos cerca de controlar hambre, plagas y guerra, ¿qué vamos a hacer en el futuro? ¿Vamos a acabar con la muerte? ¿Se va a convertir la muerte en una elección voluntaria? Cuando le preguntaron a Woody Allen si le gustaría vivir eternamente en la pantalla, contestó: “Preferiría hacerlo en mi apartamento”.

Se trata de una visión muy atrevida incompatible con las religiones monoteístas basadas (al menos para dos de entre ellas) en una vida después de la muerte, ya que Harari cree que pronto alcanzaremos la vida eterna, si así lo deseamos, en este siglo o en el próximo. El precio a pagar es la fusión con las máquinas que supondrá la extinción del *Homo Sapiens* o, al menos, su paso a un papel secundario. La célebre frase de Keynes “a largo plazo estamos todos muertos” se convertiría en “a largo plazo, la mayoría de nosotros estaremos muertos”.

No habla Harari de los progresos de la ciencia necesarios para alcanzar ese nuevo estadio en la evolución, aunque están implícitos en su predicción del futuro. Por la naturaleza misma

de su modelo, las ciencias de la vida son prioritarias, en particular las neurociencias. Hay toda una bibliografía por un lado sobre los superhumanos [64] y por otro sobre si en el futuro seremos superfluos [65].

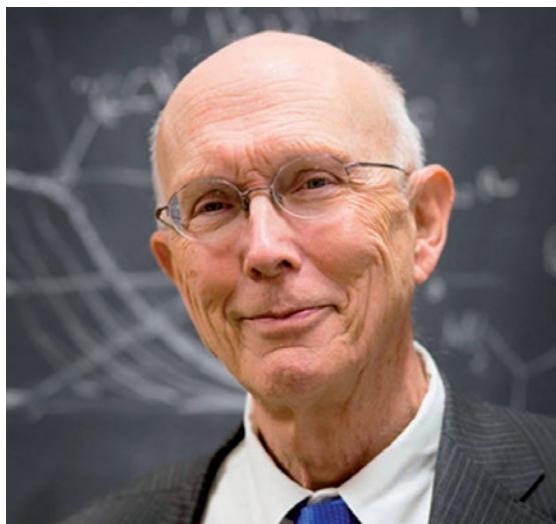


**Figura 14.** Yuval Noah Harari

Como todo lo que hemos estado comentando sobre la predicción del futuro adolece de la debilidad de estar basado en hipótesis científicas y tecnológicas cuya próxima realidad es al menos incierta. Alguien ha escrito “lo que no se puede imaginar no se puede predecir” y “las predicciones deberían tener fecha de caducidad” [66].

## 10. EL CIENTÍFICO

Voy a resumir tres magníficos trabajos de Whitesides (Figura 15) relacionados con la química pero válidos para muchos otros campos: uno de 1990 [67], uno de 2004 [68] y el último de 2018 [69] todos publicados en inglés en *Angewandte Chemie* y, por lo tanto, todos fácilmente accesibles. Whitesides reconoce en su predicción de la química dentro de veinte años (escrito en 1990 [66], luego para 2010) que las cosas más importantes y más interesantes, aquellas que suponen una ruptura radical con lo presente, no las puede predecir. Predecir lo que él llama **ciencia extraordinaria** es lo que ha dado merecida mala fama a la especulación.



**Figura 15.** George M. Whitesides

Dice que especular sobre el futuro de la ciencia parece estar genéticamente codificado en los científicos hasta el punto de preguntarse ¿por qué gastamos nuestro tiempo en especular sobre temas que creemos no poder predecir? Por al menos cinco razones: 1) utilitaria (planificar nuestra investigación y, si lo hacemos con éxito, tener una buena carrera profesional); 2) satisfacer nuestra curiosidad (¿cuál de nuestras fantasías será la realidad de nuestros nietos?); 3) filosófico-cultural; 4) la sociedad espera de nosotros que especulemos; 5) ¿hay líneas de investigación que debemos evitar?

En 1990 propone una acercamiento bimodal: atraer (relacionado con la sociedad o con el neologismo “societal”) y empujar (relacionado con la ciencia). Es decir, la química evolucionará arrastrada por las necesidades sociales y empujada por la dinámica de la ciencia.

Las necesidades sociales son:

1. La seguridad nacional. Recuerda que muchos grandes descubrimientos están relacionados con la guerra (energía nuclear, gasolinas de alto índice de octano, penicilina, ordenadores, aviones a reacción, comunicaciones por satélites, etc). Predice que lo militar va a dejar paso a lo económico (pero eso está escrito antes del 11-S del 2001).
2. La sanidad en sus cuatro aspectos de población envejecida, epidemias globales, costo y drogas. Si la química quiere contribuir a su solución debe fusionarse con la biología.
3. El medio ambiente: calentamiento global, residuos (incluidos los generados por los centros universitarios).
4. Energía. Baterías, coches híbridos.

Los temas científicos que van a empujar a la química son:

1. Materiales. Nueva ciencia que implica fenómenos que tienen lugar a escalas que han estado fuera del dominio de la química en tamaño, tiempo o intensidad [70]. Predicción

de propiedades. Cómo contestar a la pregunta ¿cómo puedo sintetizar un sólido que sea superconductor a 400 K? en los campos de polímeros; superficies e interfaces [señala en 1990 lo interesante que es el grafito (el grafeno fue descubierto en 2004)]; materiales inteligentes.

2. Química biológica: reconocimiento molecular; diseño racional de fármacos; evolución y auto-ensamblaje; bioenergía; bases moleculares de la memoria.
3. Computación. Recuerda que solo la computación permite contestar a preguntas tales como ¿qué pasa si cambia la constante dieléctrica del agua?, y profetiza el impacto de los ordenadores masivamente paralelos y las redes neuronales.
4. Explorando los límites: muy pequeño (PCR [71]), muy rápido (Zewail [72]), muy grande (cita la síntesis de diamante  $^{12}\text{C}$  isotópicamente puro que el material con la mayor conductividad térmica conocida).

Concluye escribiendo que la química es la ciencia más fundamental en lo que concierne a la realidad perceptible.

En 2004, catorce años después, adopta otro acercamiento [67]. Trata de ver qué pasaría si una serie de premisas que damos por verdaderas fuesen falsas o, al menos, incompletas (la sociedad cambia cuando desecha una hipótesis mayor): 1) somos las entidades más inteligentes del planeta (relacionado con la complejidad, la emergencia y los ordenadores); 2) somos mortales (no es necesario llegar a la inmortalidad, con mucho menos cambiaríamos el mundo, por ejemplo, si la fertilidad femenina durase 100 años); ¿hay que limitar el número de nacimientos o limitar la duración de la vida?; 3) los pacientes tienen el mismo acceso a la información que los médicos y están mucho más motivados, ¿cómo va modificar esto la medicina?; 4) la tierra tiene que permanecer habitable; 5) ¿Seguirán siendo las naciones la más poderosa de las organizaciones humanas? La tecnología es cada vez más supranacional.

En 2018 [68], Whitesides hace un elogio encendido a la curiosidad y escribe que cuando en un diálogo socrático se llega a una pregunta cuya respuesta es “no sé” (debo seguir pensando) hemos alcanzado el objetivo. Reconoce que además de la curiosidad la ciencia está guiada por la necesidad de resolver ciertos problemas pero advierte a los docentes del peligro de acabar con ella (recuerda la frase de Albert Einstein “es un milagro que la curiosidad sobreviva la educación formal”). Este es un documento excepcional en el que un gran científico habla de su manera de pensar, de sus emociones, algo que Roald Hoffmann ya ha defendido [73,74] y que cae fuera de los aspectos formales tan queridos por Popper [42]. También Serratosa se acerca a Whitesides cuando defiende las “half-baked ideas”, las ideas a medio cocer [36].

Para relajar un poco un acto tan serio cuenta Whitesides que su amigo Jeremy Knowles (también de Harvard, 1935-2008) decía que la principal razón por la que iba a las conferencias era para estar ligeramente aburrido, lo que permitía dejar volar su imaginación.

Por mi parte, poco que añadir. Quisiera recordar que llevo tiempo insistiendo en la explosión combinatoria de la química. Moléculas de tamaño más pequeño que muchas ya sintetizadas tienen más isómeros que partículas elementales hay en el universo. La humanidad se

extinguirá habiendo sintetizado y estudiado una fracción ínfima de las moléculas posibles [75,76,77].

Los números son tan grandes que una exploración de tipo “fuerza bruta” no sería eficaz. Convendría una exploración de tipo diseño óptimo de experimentos (por ejemplo, una matriz de Plackett–Burman) pero para eso es necesario definir el espacio de las moléculas. Esto es mucho más complicado que usar las coordenadas cartesianas de los átomos de las moléculas, puesto que habría que añadir una dimensión más para definir la naturaleza de los átomos (hay 92 elementos naturales). Eso hace un espacio de muchas dimensiones que aunque se reduzca por componentes principales no es humanamente imaginable.

En este campo son muy interesantes los trabajos del Profesor Jean-Louis Reymond (Figura 16, Universidad de Berna) sobre la construcción del espacio de la química y donde trata de contestar a la pregunta ¿cuántas moléculas orgánicas son posibles? Con 17 átomos de C, N, O, S y los cuatro halógenos principales, la respuesta es  $166 \times 10^9$  [78]. Hoy día se conocen  $9 \times 10^6$  compuestos químicos! Otro aspecto remarcable de los trabajos de Reymond es que las moléculas conocidas forman clústers muy pequeños (por ejemplo, alrededor de los productos naturales) quedando enormes zonas vacías.



**Figura 16.** Jean-Louis Reymond

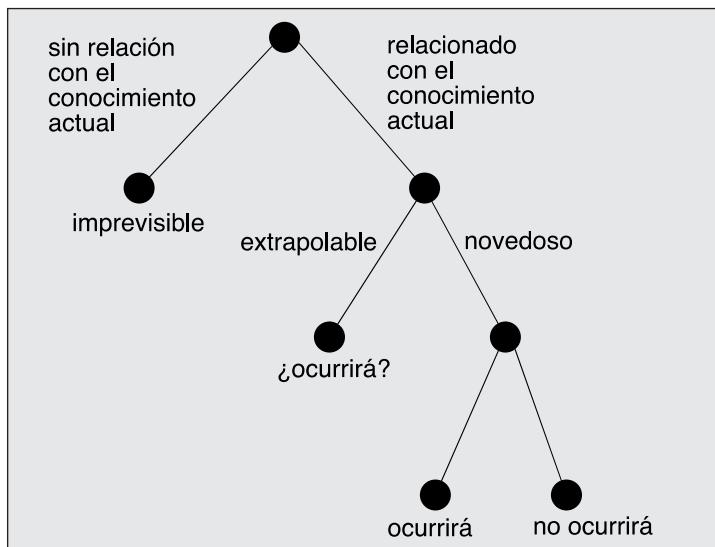
## 11. CONCLUSIONES

Pocas cosas hay en común entre las tres personas citadas con sus tres campos (ciencia-ficción, divulgación y ciencia); una de ellas es la muerte. En la última entrevista de Freud en el año 1926 este dice: “Tal vez los dioses sean gentiles con nosotros, tornándonos la vida más desgradable a medida que envejecemos. Por fin, la muerte nos parece menos intolerable que los fardos que cargamos” [79] frase que hemos citado con frecuencia [74,80]. Si cada vez controlamos el dolor, si nuestra buena salud es cada vez más larga y si nuestra esperanza de vida crece sin parar, ya no hay razón para que la muerte nos resulte tolerable.

Casi el único punto de confluencia de las personas que hemos citado está relacionado con la muerte: la muerte programada de la heroína protagonista (Rosa Montero), hay que limitar el número de nacimientos o limitar la duración de la vida (Whitesides), la libre elección de la mortalidad (Harari).

Predecir algo radicalmente nuevo es una contradicción. Si lo predecimos ya no es nuevo. Lo que sí se podía era predecir que algo conocido pero cuya importancia era ignorada se volvería relevante: DFT, fármacos antiguos con aplicaciones nuevas [81], etc.

Podemos clasificar las predicciones con un árbol de decisión (Figura 17):



**Figura 17.** Árbol de decisión

Si el descubrimiento no guarda relación con lo conocido no se puede predecir. Otra cosa es que sea probable algo fuera del denso tejido de la ciencia actual. Dado lo mal que sabemos predecir propiedades de fármacos y materiales, una sustancia con propiedades sorprendentes sí es posible.

Descubrimientos relacionados con el conocimiento actual son previsibles pero podemos considerar dos casos. Lo extrapolable, es decir, algo que va más allá de lo conocido pero cuyo camino es conocido. Aquí entran todos los procesos de optimización.

Descubrimientos en los que se está trabajando pero que no se sabe si tendrán éxito o no: teoría del todo/nueva física [82]; fusión nuclear; computación cuántica; prolongación de la vida mucho más allá de un siglo; y otras muchas.

El tema principal de este discurso ha sido el de la **edad de oro** de la ciencia. ¿Ha pasado, estamos viviendo o queda poco para que empiece el declive de la ciencia? Poco quiere decir unos siglos, un milenio, un punto en la curva de la humanidad antes de que se extinga dentro de mil millones de años, cuando el Sol engulla la Tierra. Yo creo que eso será así y que el futuro será un mundo sin grandes problemas científicos por resolver. Algunos lo han llamado el Mundo Polinésico, otros el Paraíso Recobrado, yo prefiero llamarlo el **Mundo de los Ingenieros**: los fundamentos están definitivamente establecidos pero las aplicaciones son incontables.

A la pregunta del título de esta lección “**¿podemos los científicos mejorar el futuro?**”, la respuesta es sí. No solo podemos, debemos. Este es el sentido profundo de nuestra profesión: mejorar el futuro de la humanidad. Pues «ciencia sin conciencia no es más que ruina del alma» [83]. Los científicos debemos educar a las futuras generaciones para que juzguen el mundo con la serenidad y la honradez de un hombre de ciencia. Pero no solo de pan vive el hombre [84]. Cada uno de nosotros cultivará la parte religiosa o ética para poder luchar contra el mal uso de nuestros inventos. No nos podemos lavar las manos. Sin Einstein, Heisenberg, Oppenheimer y los demás científicos no habría habido Hiroshima y Nagasaki. No es tarea fácil pero es nuestro deber que la ciencia que generamos no sea mal utilizada.

No solo podemos.

No solo debemos.

Lo haremos: mejoraremos el futuro de la humanidad.

Como dijo Ludwig van Beethoven “Muss es sein? Es muss sein! Es muss sein!” [85]

Es tiempo de concluir. Cuando se alcanza una edad avanzada le vienen a uno textos y poemas que sintonizan con su ánimo:

Ha escrito Josep Plá en El Cuaderno Gris: “Lo que los observadores y naturalistas presentan como móviles de las acciones humanas –el dinero, la sensualidad, el vientre– son las formas externas de una vanidad más profunda: la ilusión de permanecer (...). Es incontable el número de personas que piensan que no se han de morir nunca, que están absolutamente seguras –en virtud de la seguridad inconsciente, que es la más fuerte– de quedarse para siempre en esta tierra. Casi todo el mundo, quizá todo el mundo”.

Antonio Machado empieza así su retrato: “Mi infancia son recuerdos de un patio de Sevilla”, y concluye: “Y cuando llegue el día del último viaje, y esté al partir la nave que nunca ha de tornar, me encontraréis a bordo ligero de equipaje, casi desnudo, como los hijos de la mar”

Cervantes dedicó su último libro, *Los trabajos de Persiles y Segismunda*, a Pedro Fernández de Castro, Conde de Lemos y Marqués de Sarriá; en él se puede leer: “Puesto ya el pie en el estribo, con las ansias de la muerte, gran señor, ésta te escribo”. Cervantes falleció tres días después de dictar esta carta.

Cercanas en los sentimientos, infinitamente alejadas en el estilo, todas ellas nos commueven.

A los científicos, pavlovianos curiosos, nos gustaría conocer el futuro de la ciencia. Si nos despertáramos dentro de ochenta años, ¿solo sentiríamos leve sorpresa y nos adaptaríamos rápidamente, o bien algo inesperado habrá ocurrido? ¿Una civilización extrasolar? ¿Curación del cáncer y de la enfermedad de Alzheimer? ¿Aplicaciones de la energía oscura?

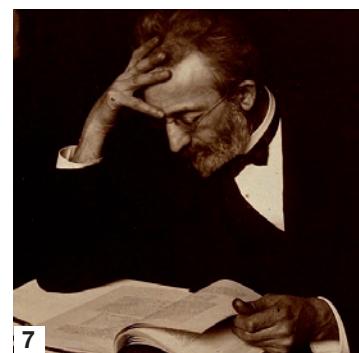
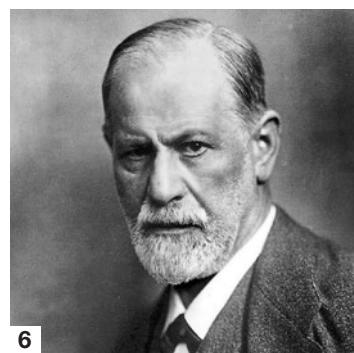
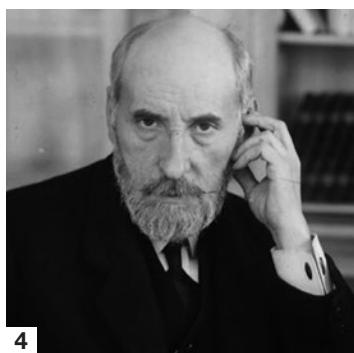
Quién sabe, quizás alguien en esta casa conteste a estas preguntas en su discurso de ingreso.

Gracias.

Madrid, 23 de octubre de 2019.

## 12. REFERENCIAS Y NOTAS

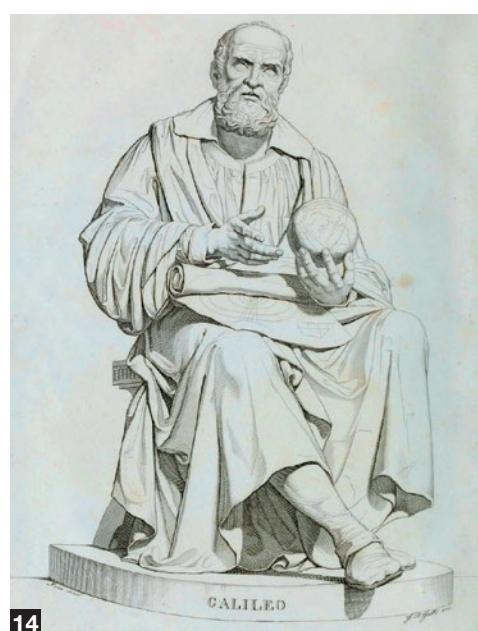
1. B. Johnson, D. F. Mosri, *Front. Psychol.* **2016**, 7, 1459.
2. J. Rallo Romero, F. Martí Felipo, M. A. Jiménez-Arriero, *Los sueños de Santiago Ramón y Cajal*, Biblioteca Nueva, Madrid, 2014.
3. Otros autores lo denominan “la omnipotencia de la sugestión: hipnotismo espiritismo y metempsicosis”; en 1936, el Instituto de Higiene Alfonso XIII fue destruido en el asalto a la Ciudad Universitaria y así se perdió el manuscrito.
4. S. Ramón y Cajal, *Rev. Med. Cir. Fac. Madrid* **1908**, 3, 87. Hay versión accesible en la red.
5. Virgili Ibarz Serrat de la Universidad Ramon Llull ha publicado un detallado trabajo “La interpretación de los sueños en la obra de Ramón y Cajal”, *Revista de Historia de la Psicología*, **2017**, 38, 21–27.
6. S. Freud, *Die Traumdeutung*, 1899. Existe versión en castellano: *La interpretación de los sueños*, Biblioteca Nueva, 4<sup>a</sup> Edición, 1981.
7. Yves Delage fue un zoólogo francés que al quedarse ciego a los 50 años se dedicó a autoanalizarse. Es citado favorablemente por Freud aunque su modelo de los sueños es puramente fisiológico (vibración sincronizada de las neuronas).
8. S. Herculano-Houzel, “Yves Delage: neuronal assemblies, synchronous oscillations, and hebbian learning in 1919”, *The Neuroscientist*, **1999**, 5, 341–345.
9. S. Ramón y Cajal Junquera, *Ramón y Cajal, la voluntad de un sabio*, Just in Time S.L., Madrid, 2006, p. 241.



11



10. S. Ramón y Cajal, “Las sensaciones de las hormigas”, *Rev. Soc. Esp. Hist. Nat.* 15 de marzo de 1921, tomo del 50º aniversario. La mayor parte de su labor mirmecológica no fue publicada y se considera perdida. Cajal intentó ir más allá que Maurice Maeterlinck (Premio Nobel de Literatura, 1911) en *La vie des fourmis* (1930). En uno de los sueños de Cajal (nº 30) aparece Maeterlinck [2]. Véase también Virgili Ibarz Serrat, “La psicología de las hormigas en la obra de Ramón y Cajal”, *Persona*, 2017, 69–81.
11. Hoy es la Escuela Técnica Superior de Ingeniería Civil de la Universidad Politécnica de Madrid, sin nada que recuerde que ese edificio fue el Instituto Cajal.
12. Para los interesados en la relación entre el número áureo y la sucesión de Fibonacci ver las conferencias y libros del profesor de la universidad de Stanford, Keith J. Devlin, y su crítica feroz a la supuesta belleza de la proporción áurea.
13. Nadie duda que uno de los campos donde se pueden producir descubrimientos revolucionarios es en el de la naturaleza de la energía oscura.
14. Galileo Galilei se preguntaba en *Il Saggiatore* en qué lenguaje estaba escrita la naturaleza, y decía: “... Egli è scritto in lingua matematica, e i caratteri son triangoli, cerchi, ed altre figure geometriche, ...”.



14

15. Marina Logares, ¿Qué sabemos de? “Las geometrías y otras revoluciones”. ¿Qué sabemos de?, Nº 97. CSIC-Catarata, 2018. En ese libro, la autora explica que la teoría matemática del fibrado principal no abeliano debida a Elie Cartan precedió las teorías “gauge” de Yang-Mills. Debe de haber teorías matemáticas cuya aplicación a la física aún no ha sido descubierta.

16. “It is indeed a surprising and fortunate fact that nature can be expressed by relatively low-order mathematical functions”, Rudolf Carnap.

17. Gunther S. Stent, *The Coming of the Golden Age: A View of the End of Progress*, Dubleday, 1959. Existe traducción al castellano. *El advenimiento de la edad de oro*, Seix Barral, Barcelona, 1973.

18. John Horgan, *The End of Science. Facing the Limits of Knowledge in the Twilight of the Scientific Age*, Addison Wesley, 1996. Existe traducción al castellano: *El fin de la ciencia: los límites del conocimiento en el declive de la era científica*, Paidos Ibérica, 1998.

19. J. Maddox, *What Remains to be Discovered. Mapping the Screens of the Universe, the Origins of Life, and the Future of the Human Race*, Martin Kessler Books, New York, 1998. Existe versión en castellano: *Lo que queda por descubrir*, Debate, Barcelona, 1999.

20. Á. Martín Municio, “... en los que el mayor cambio es el ritmo del cambio mismo.” ABC, 5 de enero de 2001.



21. Cuenta la leyenda que hace mucho tiempo reinaba en cierta parte de la India un rey llamado Sheram. En una de las batallas en las que participó su ejército perdió a su hijo, y eso le dejó profundamente consternado. Nada de lo que le ofrecían sus súbditos lograba alegrarle. Un buen día un tal Sissa se presentó en su corte y pidió audiencia. El rey la aceptó y Sissa le presentó un juego que, aseguró, conseguiría divertirle y alegrarle de nuevo: el ajedrez.

—Soberano —dijo Sissa—, manda que me entreguen un grano de trigo por la primera casilla del tablero del ajedrez.

—¿Un simple grano de trigo? —contestó admirado el rey.—

—Sí, soberano. Por la segunda casilla, ordena que me den dos granos; por la tercera, 4; por la cuarta, 8; por la quinta, 16; por la sexta, 32...

—Basta —le interrumpió irritado el rey—. Recibirás el trigo correspondiente a las 64 casillas del tablero de acuerdo con tu deseo: por cada casilla doble cantidad que por la precedente.

El rey escuchaba lleno de asombro las palabras del anciano sabio.

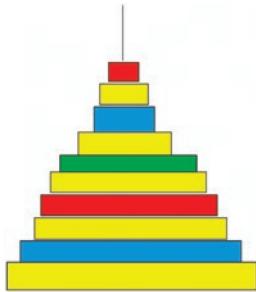
—Dime cuál es esa cifra tan monstruosa —dijo reflexionando.

—¡Oh, soberano! Dieciocho trillones cuatrocientos cuarenta y seis mil setecientos cuarenta y cuatro billones setenta y tres mil setecientos nueve millones quinientos cincuenta y un mil seiscientos quince.

Es decir  $2^{64} - 1 = 18.446.744.073.709.551.615$ .

22. El punto de equivalencia o punto estequiométrico de una reacción química se produce durante una valoración o titulación. Un gráfico de valoración muestra un punto de inflexión en el punto de equivalencia de la curva sigmoide. Su primera derivada tiene un máximo en ese punto.
23. Muchas de las entrevistas tuvieron lugar en el Instituto de Santa Fe (Nuevo México). Para más información sobre el Instituto de Santa Fe, ver P. García Barreno, Integración cultural: Transciencia (2016) en su página de la RACEFyN.
24. Un *argumentum ad verecundiam*, argumento de autoridad o *magister dixit* es una forma de falacia. Consiste en defender algo como verdadero porque quien es citado en el argumento tiene autoridad en la materia (Wikipedia).
25. J. de Mendoza, “La honestidad de los investigadores”, *Anales de Química*, **2018**, 114, 212.
26. Particularmente en España. Hay cientos de nombres de científicos en el libro de Maddox, pero solo uno de un español, Cajal.
27. Si el libro sobre el futuro de Maddox ha envejecido en 22 años, ¿cuán rápido envejecerá este discurso?
28. Por la expansión acelerada del Universo recibieron el Premio Nobel de Física 2011 Saul Perlmutter, Brian Schmidt y Adam Riess. Para saber más ver Pilar Ruiz Lapuente: *La aceleración del universo, ¿Qué sabemos de?*, N° 102, CSIC-Catarata, 2019.
29. Por anisotropía de la radiación cósmica de microondas recibieron el Premio Nobel de Física 2006 George F. Smoot y John C. Mather.
30. Por demostrar que los neutrinos tienen masa recibieron el Premio Nobel de Física 2015 Takaaki Kajita y Arthur B. McDonald.
31. La idea de los ordenadores cuánticos data de los 80, cuando Richard Feynman y Yuri Manin, independientemente, discutieron esa posibilidad.
32. Alfred N. Whitehead, “It must be remembered that the phrase actual world is like yesterday and tomorrow, in that it alters its meaning according to the standpoint”, *Process and Reality, An Essay in Cosmology*, The Free Press, New York, 1978; Macmillan Publishing Co. Inc. 1929.
33. M. J. McGrath, J. I. Siepmann, I.-F. W. Kuo, C. J. Mundy, J. Vande Vondele, J. Hutter, F. Mohamed, M. Krack, “Simulating fluid-phase equilibria of water from first-principles”, *J. Phys. Chem. A*, **2006**, 110, 640.

34. Más bien con peldaños discretos como en el juego de las torres de Hanói:



35. Para una magnífica exposición sobre las grandes leyes, véase C. A. Pickover *Archimedes to Hawking*, Oxford University Press, 2008.



36

36. Félix Serratosa, uno de los mejores químicos que España ha tenido, escribe: “Cuanto más el hombre avanza en el campo de la ciencia, más se da cuenta cuan lejos está de la meta”. Ignoratica, en *The Scientist Speculates: An Anthology of Partly-Baked Ideas*, Ed. I. J. Good, Heinemann, 1962.

37. Feynmann dice eso en 1988 poco antes de fallecer. Naturalmente eso debió influir en sus opiniones, véase Horgan [18].

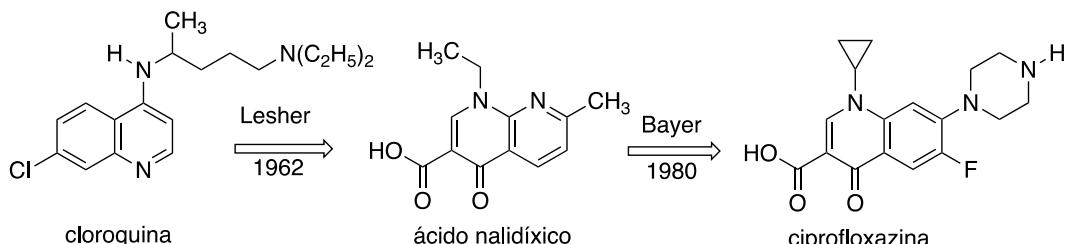
38. ¿Hay seres inteligentes demasiado lejos? Horizonte cosmológico, horizonte de partículas, horizonte de sucesos, horizonte de la luz en el universo observable. Edad y diámetro del universo 15.000 millones de años luz. Extinción de la especie humana por expansión del Sol = 1.000 a 10.000 millones años. Más allá el Universo acabará como la esfera perfectamente lisa de un gran agujero negro en el apoteósico triunfo del segundo principio.

39. Cono de luz: “todos los demás eventos que se encuentran en “cualquier otro sitio”, más allá de los conos de *E* (un evento cualquiera), y que nunca afectarán ni podrán ser afectados causalmente por lo que suceda en *E*”. Horizonte de sucesos: “una hipersuperficie frontera del espacio tiempo, tal que los eventos a un lado de ella no pueden afectar a un observador situado al otro lado”.

40. “Hemos de considerar el estado actual del universo como el efecto de su estado anterior y como la causa del que ha de seguirle. Una inteligencia que un momento determinado conociera todas las fuerzas que animan la naturaleza, así como la situación respectiva de los seres que la componen, si además fuera lo suficientemente amplia como para someter a análisis tales datos, podría abarcar en una sola fórmula los movimientos de los cuerpos más grandes del universo y los del átomo más ligero; nada le resultaría incierto y tanto el futuro como el pasado estarían presentes ante sus ojos”, Pierre-Simon Laplace, 1814.

41. N. N. Taleb, *The Black Swan: The Impact of the Highly Improbable*, Random House, New York, 2010. Existe versión en castellano: *El cisne negro: El impacto de lo altamente improbable*, Paidós Ibérica, Barcelona, 2011.
42. K. Popper, *Logic of Scientific Discovery*, 1959 (Routledge, London and New York, 1999). Existe versión en castellano: *La lógica de la investigación científica*, Tecnos, Madrid, 2008.
43. La metáfora del cisne negro es mucho más antigua, hay una cita de Juvenal “rara avis in terris nigroque simillima cygno” (82 AD).
44. N. N. Taleb, *Anti-Fragile: Things that Gain from Disorder*, Penguin Books, 2012. Existe versión en castellano: *Antifrágil: Las cosas que se benefician del desorden*, Paidós Transiciones, Barcelona, 2013.
45. Un libro más reciente del mismo autor *Skin in the Game: Hidden Asymmetries in Daily Life*, Penguin Books, 2018 (Existe versión en castellano, *Jugarse la piel: Asimetrías ocultas en la vida cotidiana*, Contextos, 2019) no aporta nada en este contexto.
46. He aquí una de las muchas listas de los descubrimientos clasificados como “serendípicos”: descubrimiento de América (Colón, 1492); descubrimiento del oxígeno (Priestly, 1774); descubrimiento de la corriente eléctrica (Galvani, 1786); síntesis de la urea (Wohler, 1828); invención de la fotografía (Daguerre, 1835); vulcanización del caucho (Goodyear, 1844); sacarina (Fahlberg, 1885); papel del pancreas en la diabetes (von Meiring y Minkowski); nylon (Carothers, 1937); ciclamatos (Sveda, 1937); teflon (Plunkett, 1938), aspartamo (Schlatter, 1965); minoxidil (Zappacosta y Fiedler-Weiss, 1980).
47. S. A. Alharbi, M. Wainwright, T. A. Alahmadi, H. B. Salleeh, A. A. Faden, A. Chinnathambi, “What if Fleming had not discovered penicillin?”, *Saudi J. Biol. Sci.* **2014**, 21, 289.
48. En 1962, Lesher y col. (Sterling-Winthrop Research Institute, New York) descubrieron, durante la síntesis de compuestos contra la malaria análogos a la cloroquina, un derivado con actividad antibacteriana: el ácido nalidíxico (G. Y. Lesher, E. J. Froelich, M. D. Gruett, J. H. Bailey, P. Brundage, *J. Med. Chem.* **1962**, 5, 1063). Esta nueva molécula, aprobada para uso clínico en 1965, era adecuada para el tratamiento de infecciones entéricas y del tracto urinario causadas por bacterias gram negativas. Ha dado lugar a toda la series de las quinolonas y, más tarde, fluoroquinolonas antibacterianas como la ciprofloxacina:

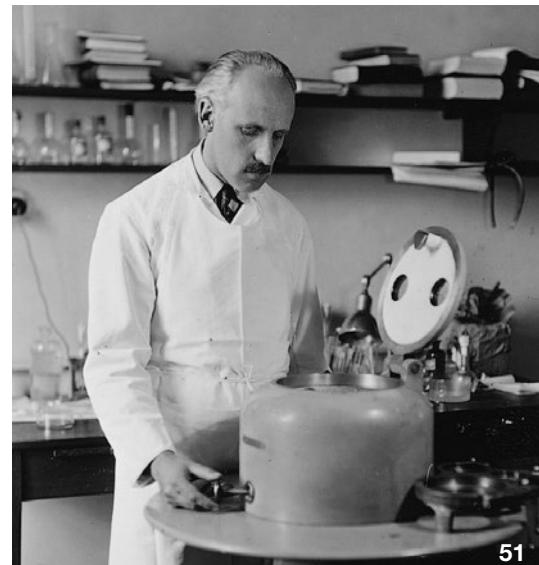
Como curiosidad Sterling-Winthrop fue adquirido por Bayer en 1994.



49. E. Lax, *The Mold in Dr. Florey's Coat. The Story of the Penicillin Miracle*, Henry Holt, New York, 2005.

50. A. Gratia, S. Dath, "Propriété bactériolytiques de certaines moisissures", *Compt. Rend. Soc. Biol.* **1924**, 91, 1442.

51. André Gratia (1893-1950) fue alumno del también belga Jules Bordet (Premio Nobel en Fisiología o Medicina 1919). En 1946 Fleming escribió: "I cannot refrain from mentioning one other Belgian bacteriologist my good friend Andre Gratia, and I mention him for the special reason that, but for circumstance, he might well have been the discoverer of *Penicillin*. In 1926 he noticed that a mould apparently destroy and dissolve certain bacteria... The mould which he had might have been *Penicillium notatum* and the active substance might have been penicillin but as the culture was not preserved we shall never know.



52. "It is a capital mistake to theorize before one has data. Insensibly one begins to twist facts to suit theories, instead of theories to suit facts", A Scandal in Bohemia.

53. R. Montero, *Lágrimas en la lluvia*, Editorial Planeta, Barcelona, 2011.

54. R. Montero, *El peso del corazón*, Editorial Planeta, Barcelona, 2015.

55. R. Montero, *Los tiempos del odio*, Editorial Planeta, Barcelona, 2018.

56. Y. N. Harari, *Homo Deus: A Brief History of Tomorrow*, Random House, UK, 2016. Existe traducción al castellano. *Homo Deus: Breve historia del mañana*, Debate, Barcelona, 2016.

57. I. Hargittai, *The Road to Stockholm. Nobel Prizes, Science, and Scientists*, Oxford University Press, 2002.

58. L. Pauling, *The Nature of the Chemical Bond and the Structure of Molecules and Crystals*, Cornell University Press, 1939,

59. La espectroscopía  $\beta$ -NMR aumenta enormemente la sensibilidad. En un espectrómetro convencional son necesarios  $>10^{16}$  núcleos en la sonda, mientras que en  $\beta$ -NMR bastan con  $10^7$ . D. Szunyogh, R. M. L. McFadden, ..., L. Hemmingsen, M. Stachura, *Dalton Trans.* **2018**, 47, 14431–14435.

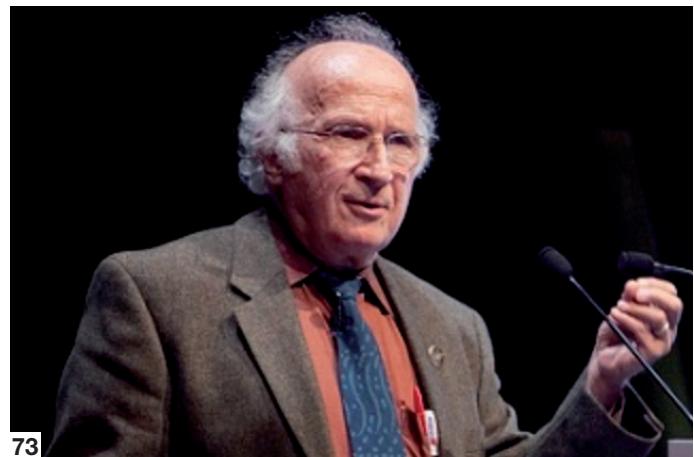
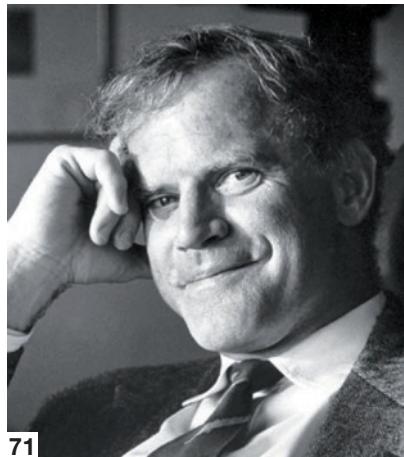
60. Muon-NMR o muon-Spin relaxation o  $\mu$ SR Spin spectroscopy. L. Tesi, Z. Salman, I. Cimatti, F. Pointillart, K. Bernot, M. Mannini, R. Sessoli. *Chem. Commun.* **2018**, 54, 7826–7829.
61. Mario Bunge en su ensayo “Is Chemistry a Branch of Physics” (*Z. All. Wissen.* **1982**, 13, 14) concluye “In short, quantum chemistry is based on quantum physics but is not a part of it.” y “Nor is chemistry an autonomous science: it is based on physics. However, chemistry in turn feeds physics a number of data, ideas, and problems. So, physics and chemistry are interdependent.”
62. Mujeres en (con)ciencia, Eds. M. M. García Lozano, H. Guzmán, M. D. Martos Pérez, A. Zamorano, UNED, Colección Literatura y mujer, M. Amela “La androide Bruna Husky de Rosa Montero”, Edición digital, febrero de 2018.
63. Mario Bunge, “Técnica y producción”, *El País*, 18 de junio de 1982.
64. David Roden, *Superhuman life: philosophy at the edge of the human*, Routledge, London, 2015.
65. Bill Joy, Why the future doesn’t need us, *Wired* 2000, Issue 8.04.
66. Steven Shapin, “The superhuman upgrade”, *London Review of Books*, 13 July 2017.
67. George M. Whitesides, What will chemistry do in the next twenty years? *Angewandte Chemie International Edition*, **1994**, 29, 1209–1218.
68. George M. Whitesides, Assumptions: taking chemistry in new directions, *Angewandte Chemie International Edition* **2004**, 43, 3632–3641.
69. George M. Whitesides, Curiosity and science, *Angewandte Chemie International Edition* **2018**, 57, 4126–4129.
70. Nosotros publicamos un trabajo titulado “Procesos químicos y reacciones en condiciones extremas o no clásicas” en *Política Científica* **1991**, 28, 37–39.
71. Kary Mullis (1944-2019), Premio Nobel de Química, 1993.
72. Ahmed Zewail (1946-2016), Premio Nobel de Química, 1999. Véase Jesús Santamaría “Evolución de ideas en torno a la reacción química”, discurso leído en el acto de su recepción como académico de número (29 de enero de 2003).
73. Roald Hoffmann, *On the philosophy, art, and science of chemistry*, Oxford University Press, Oxford, 2012.

74. José Elguero, “Investigación, ciencia y el Barón de Grotthus”, *Revista Academia Canaria de Ciencias*, 2006, 18, 169–192.

75. José Elguero, “Hombres de ciencia y creadores: eso somos los químicos”, *Anales de Química*, 2017, 113, 218–223.

76. José Elguero, Discurso de investidura de Doctor “Honoris Causa”, Universidad de Castilla-La Mancha, 12 de noviembre de 1999.

77. José Elguero, Discurso de investidura de Doctor “Honoris Causa”, Universidad Nacional de Educación a Distancia, 31 de enero de 2019.



- 78.Jean-Louis Reymond, *Accounts of Chemical Research*, **2015**, *48*, 722–730.
- 79.Georges S. Vierek, “An Interview with Freud” (1926), “Perhaps the gods are kind to us by making life more disagreeable as we grow older. In the end, death seems less intolerable than the manifold burdens we carry”.
- 80.José Elguero, “Metodología de la investigación: los ejemplos de Freud y Cajal”, RACE-FyN, 24 de mayo de 2004.
- 81.P. Pantziarka, D. Weatherall, N. Mirza, “New uses for old drugs”, *BMJ* **2018**, *361*, k2701. J. Gogos, “New uses for old medications”, *Scientific American*, **2018**, July 27.
- 82.Alberto Casas, *El LHC y la frontera de la física, ¿Qué sabemos de?* CSIC-Catarata, N° 100 (2019).
- 83.“Science sans conscience n’est que ruine de l’âme”, F. Rabelais, Carta de Gargantúa a su hijo Pantagruel.
- 84.Mateo 4:4 y Lucas 4:4.
- 85.“¿Debe ser? ¡Será! ¡Será!”, cuarteto de cuerdas nº 16 en Fa mayor opus 135, 4º movimiento.