

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

DISCURSO INAUGURAL

DEL AÑO ACADÉMICO 2007-2008

**LEÍDO EN LA SESIÓN CELEBRADA EL DÍA 31 DE OCTUBRE DE 2007
POR EL ACADÉMICO NUMERARIO**

EXCMO. SR. D. FRANCISCO JOSÉ YNDURÁIN MUÑOZ

SOBRE EL TEMA

SEIS PILARES DE LA SABIDURÍA



MADRID
DOMICILIO DE LA ACADEMIA
VALVERDE, 22 - TELÉFONO 917 014 230
2007

Depósito legal: M. 34.341-2007

Impreso en Realigraf, S. A - Pedro Tezano, 26. 28039 Madrid

Seis pilares de la sabiduría

"Es cosa averiguada (...) que no se sabe nada, y que todos son ignorantes; y aun esto no se sabe de cierto, que a saberse, ya se supiera algo: sospechase."

F. DE QUEVEDO, 'El mundo por dentro'

Introducción

En el año 1926 el militar y escritor británico Thomas E. Lawrence, más conocido por el sobrenombre de *Lawrence de Arabia*, escribió un libro, híbrido entre novela y crónica histórica, acerca, entre otras cosas, de su actuación –a veces real y otras veces imaginada– en Arabia durante la Primera Guerra Mundial. En dicho libro no se vislumbra ninguna razón para su título, *Seven Pillars of Wisdom*. Cuando a Lawrence le preguntaron por esta aparente anomalía, contestó que, efectivamente, el libro no tenía nada que ver con los pilares de la sabiduría, sean estos siete o más; pero que el título le había gustado.

En este discurso yo, como Lawrence, he escogido el título porque me ha gustado; pero, a diferencia de él, el contenido sí tiene que ver con la sabiduría. De hecho, con la única sabiduría que conocemos los seres humanos que sea universal, que es la de la ciencia: mis seis pilares son seis textos científicos.

Las razones de la elección de dichos textos son diversas: pero, en todos los casos, me he esforzado por buscar libros que hayan tenido un impacto importante en la sociedad en su conjunto, y no sólo entre los profesionales de la ciencia. Como toda elección, la mía es, sin duda, debatible. Hay textos (como el de Freud) que algunas personas calificarían hoy como no científico pero que, durante muchos años, ha sido considerado como una base científica de la psicología. Aparte de que ha llevado a descubrimientos acerca de los que hoy nadie duda seriamente, aunque no ha cumplido ni de lejos con las expectativas de su autor, indudablemente demasiado optimista. Y también hay un texto, la teoría de juegos de von Neumann y Morgenstern que, a pesar de que apunta claramente en la dirección correcta, todavía no ha demostrado de manera fehaciente su carácter de “pilar de la sabiduría”. Pero creo que pocos de los presentes puedan poner en duda el carácter fundamental de las obras de Euclides, Galileo o Darwin. Y, por supuesto, la de Heisenberg que, como nos recuerda Abraham Pais en su libro *“Niels Bohr’s Times”* (página 276).

“That perfectly characterizes Heisenberg’s most important contribution, one of the great jumps –perhaps the greatest– in the development of twentieth century physics”.

El orden en que se presentan los diversos “pilares” es (también) un tanto arbitrario, aunque he querido agrupar en los tres primeros lugares a los relacionados con cuestiones físico-matemáticas, colocando en un segundo bloque a los pertenecientes al mundo de la biología y sociología, tanto de animales como de seres humanos. Y, dentro de estos últimos, he dejado para el final el texto de Freud, que es el más controvertido.

Finalmente, el tratamiento dado a los diversos “pilares” también difiere de uno a otro; sobre todo debido a mi competencia, o falta de ella, acerca de sus correspondientes disciplinas. Por esto no creo que a nadie sorprenda el especial tamaño del capítulo dedicado a la mecánica cuántica, uno de mis temas preferidos.

1. Los Elementos de Euclides

Las matemáticas tienen una situación peculiar en el conjunto de las ciencias. Indudablemente, como ya percibió Galileo, son una herramienta esencial para comprender de forma científica la naturaleza: pero muchos piensan que carecen de capacidad de generar nuevo conocimiento. Calificadas de “néctar de los dioses” por el físico y gran escritor Aleksandr Solyenitsin (en su obra *El primer círculo*, Capítulo 9), son yermas en el sentido que, como demostró Alfred Tarski en los años treinta del siglo pasado, son tautológicas.

En realidad, cómo se ven las matemáticas depende en gran medida del temperamento personal. Por supuesto, los matemáticos puros no estarán muy dispuestos a negar la creatividad de su disciplina: mientras que los aplicados (entre los que nos incluyo a los físicos teóricos) se sentirán más tentados de atribuir la creatividad a la física, poniendo énfasis en el carácter de herramienta de las matemáticas.

Pero, además, hay una cuestión, que podríamos llamar filosófica, más fundamental: ¿el ser humano *inventa* las verdades matemáticas, o las *descubre*? Es decir, en lo que respecta a los *Elementos* de Euclides,¹ ¿podemos pensar que constituyen un descubrimiento de un universo geométrico el cual, tal las ideas de Platón, tiene una existencia independiente de la mente del matemático? O, por el contrario, ¿debemos considerar que las matemáticas son una creación, todo lo genial que se quiera, pero arbitraria? Es posible argumentar a favor de la segunda interpretación recordando que la geometría euclídea no es la única posible, ni siquiera la más apropiada al universo real y, por tanto, es un invento de la mente humana. Pero este argumento no es suficiente para convencernos: nada impide que, en el platónico mundo de las ideas, conviva la geometría de Euclides con las de Riemann, Lobachevski y Bolyai.

Nosotros dejamos aquí esta discusión, que, como tantas otras discusiones filosóficas, es bastante estéril. Lo que aquí nos va a interesar de las matemáticas en general, y de los *Elementos* de Euclides en particular, es su impresionante carácter de *verdad meridiana*. Si la mente humana ha aceptado la validez de los dictados de la razón se debe, sin duda en buena medida, al carácter de necesidad lógica, sin (aparentes) excepciones o fisuras, que se desprende del tratado de Euclides.

Esta validez universal, independiente de credos religiosos o fidelidades políticas y patrióticas, impresionó a escritores, como al ya citado Solyenitsin; o a Stendhal quien

¹ Los *Elementos* se dividen en 13 libros. Los primeros seis tratan sobre la geometría plana; los libros 7 al 9, sobre la teoría de números; el libro 10 trata de la teoría de Eudoxio de los números irracionales; y los libros 11 al 13 conciernen la geometría sólida, finalizando con una discusión de las propiedades de los cinco poliedros regulares y una demostración de que no puede haber más que estos cinco. Nosotros aquí nos referiremos sobre todo a la geometría de Euclides.

relata, en varias ocasiones, la sensación de claridad cristalina que sacó de su contacto con los *Elementos*; sensación que le hace decir, en sus memorias, que

“Suivant moi l'hypochresie était impossible en mathématiques et, dans ma simplicité juvenile, je pensais qu'il en était ainsi dans toutes les sciences où j'avais ouï dire qu'elles s'appliquent”.

(Stendhal, “*Vie de Henri Brulard*”, p. 349).²

También los *Elementos* impresionaron a Cervantes quien, a propósito de la novela del curioso impertinente, hace decir por Lotario a Anselmo que

“[a los moros] no se les puede dar a entender el error de su secta con las acotaciones de la Santa Escritura, ... sino que les han de traer ejemplos palpables, fáciles, inteligibles, demostrativos, indubitables, con demostraciones matemáticas que no se pueden negar”.

(*El Quijote*, Capítulo xxxiii).

El entrenamiento en razonar de forma rigurosa que conlleva el estudio de las matemáticas, en especial de los *Elementos*, fue sin duda esencial en el desarrollo de la ciencia a partir del siglo XVI. Pero la utilidad de los libros de Euclides no se detuvo allí; los *Elementos* sirvieron como libro de texto hasta mediados del siglo XIX, y el carácter *absoluto* de las verdades allí enunciadas no fue puesto en duda hasta finales de dicho siglo. Hasta tal punto que un filósofo como Kant todavía podía pensar que la geometría euclídea es una *categoría apriorística* de la mente humana, no aceptando, por tanto, ni siquiera la posibilidad de que existiese otra.

En efecto; la geometría, como estudio de las propiedades del espacio real, se basaba, desde Euclides hasta Riemann, en unos postulados que se consideraban evidentes por sí mismos. La expresión más clara de esta actitud viene dada por la ya mencionada filosofía de Kant, que considera los conceptos de espacio y de tiempo como independientes de la experiencia.

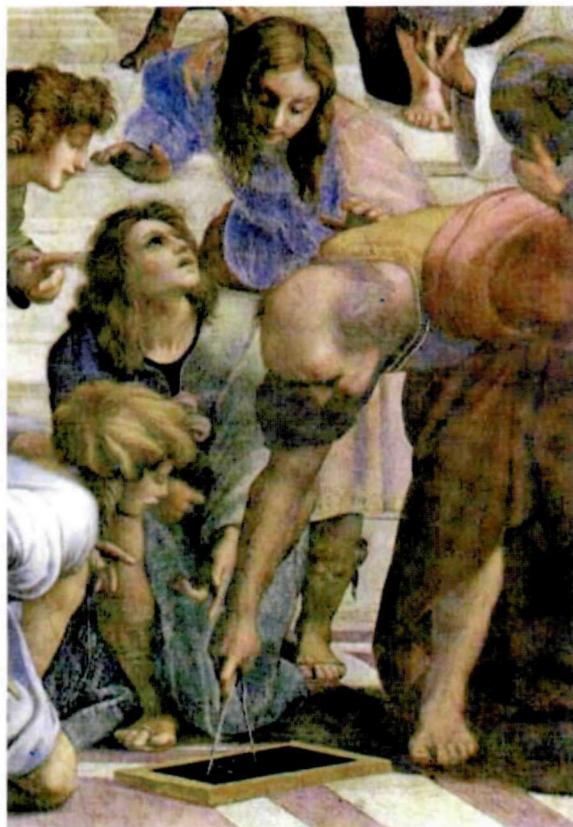
Es curioso que Kant, que pretendía haber entendido a Hume, no se percatara de lo sorprendente que era que algo dado *a priori* a la mente humana coincidiera con las propiedades medibles del espacio objetivo. Por poner un ejemplo concreto, según Kant (y Euclides) es evidente por sí mismo, *apriorísticamente cierto*, que dos paralelas, definidas como dos rectas³ que forman un ángulo de 90° con una tercera, no se cortan (el famoso *axioma de las paralelas*); y, también según ellos, es apriorísticamente cierta la afirmación equivalente de que la suma de los tres ángulos de un triángulo es de 180°.⁴

Por supuesto tales afirmaciones dejaron de ser creíbles cuando, a lo largo del siglo XIX, Gauss, Riemann, Lobachevsky y Bolyai construyeron geometrías no-euclídeas en las que,

² Dicho sea de paso, Stendhal consiguió las máximas calificaciones en sus estudios de matemáticas en el bachillerato.

³ Definiendo las líneas rectas como las que proporcionan la mínima distancia entre dos puntos.

⁴ Gauss no cayó en tal error, e intentó medir la suma de los ángulos de un triángulo con lados determinados por rayos de luz. La precisión de su experimento no era suficiente para detectar la pequeñísima desviación de 180° que, hoy sabemos, implican las ideas de la relatividad general.



Euclides y Apolonio, según el fresco de Rafael Sanzio "La Academia", en el Vaticano.

en particular, el axioma de las paralelas no es válido; demostrándose, además, que tales geometrías son tan consistentes como la euclídea. Pero quedaba abierta, aún al principio del siglo xx, la pregunta de si la geometría euclídea es la apropiada para el universo real, con lo que las demás geometrías quedarían relegadas a la categoría de meros *divertimenti* matemáticos.

Experimentalmente, parece (parecía) que esto, efectivamente, era así. Pero hoy, por supuesto, sabemos que estas propiedades "evidentes" son, de hecho, falsas. Los postulados de Euclides no son algo apriorístico, sino meras abstracciones de las experiencias que el ser humano acumula desde su infancia, en sus manipulaciones de distancias y movimientos. Y, además, tampoco son ciertos, en nuestro universo, sino de forma aproximada. Desde la formulación de la relatividad general por Einstein, en 1915, sabemos que, en el espacio *real*, dos paralelas a veces se cortan, y a veces no; y que la suma de los ángulos de un triángulo sólo es igual a 180° de forma aproximada: y ello en nuestra pequeña región del espacio. Unos seres que viviesen en las cercanías de una estrella de gran masa, y no digamos los vecinos de un agujero negro como el que existe en el centro de nuestra galaxia, hubieran comenzado por considerar "evidentes por sí mismas" unas geometrías apropiadas a un espacio curvo, muy diferentes de la de Euclides. Y la idea kantiana del tiempo tampoco saldría mejor parada.



Cubierta de una de las primeras ediciones de los *Elementos* en lengua castellana.

Como tantos otros pilares de la que podríamos llamar ciencia “clásica”, considerando como clásica a la ciencia tal y como se la entendía a mediados del siglo XIX, los *Elementos* no sobrevivieron sin traumas a las revoluciones que se dieron entre finales de dicho siglo y principios del XX. El optimismo subyacente a una formulación basada en axiomas, considerados evidentes por sí mismos, fue lentamente minado al realizarse un análisis más profundo de las hipótesis de base. No sólo se mostró cada vez más necesaria una reformulación de los axiomas, sino que quedó claro que dichos axiomas, en vez de ser “evidentes por sí mismos,” son únicamente un conjunto de entre infinitos posibles. Su validez, lejos de ser universal, y no digamos trascendente, se debe al bastante mundano hecho de ser, si uno no pide una precisión excesiva, apropiados para la región del espacio en la que nos ha tocado vivir. De hecho, la situación es más negativa si tenemos en cuenta los teoremas de Gödel, que discutiremos más adelante.

Pero a pesar de este descenso de lo transcendente a lo simplemente útil, cabe pocas dudas de que, en su insistencia en el rigor lógico, y en su demostración de la eficacia del mismo, los *Elementos* de Euclides siguen constituyendo un pilar básico del conocimiento humano.

2. El Diálogo, de Galileo

"La filosofia è scritta in questo grandissimo libro che continuamente ci sta aperto innanzi a gli occhi (io dico l'universo), ma non si può intendere se prima non s'impars a intender la lingua, e cognoscere i caratteri, ne' quali è scritto. Egli è scritto in lingua matematica, e i caratteri son triangoli, cerchi, ed altre figure geometriche, senza i quali è impossibile a intenderne umanamente parola; senza questi è un aggirarsi vanamente per un oscuro laberinto."

GALILEO, Il Saggiatore.

En nuestro país, y en todos los otros con la excepción de Italia, Galileo Galilei es conocido sobre todo como científico, o por sus choques con la Iglesia Católica. En Italia, sin embargo, se estudia a Galileo también como un gran escritor. En efecto, la prosa galileana, limpia, elegante y clara, constituye una de las cumbres literarias de la Italia del Renacimiento. Fue, sin duda, una suerte que Galileo abandonase la costumbre entre los intelectuales de la época de escribir en latín, porque así pudo legarnos unas obras que, a su incisiva profundidad, unen una rara elegancia.

Pero lo que no cabe duda es que, hubiesen estado escritos en latín, o en su brillante italiano, los textos de Galileo forman uno de los pilares sobre los que se edificó la ciencia: sin duda a ello se refería Newton cuando justificaba el haber llegado muy alto al haberse encaramado a hombros de gigantes.

Varios son los libros de Galileo que pueden citarse como básicos en la creación de la nueva ciencia: más aún, del mismo método científico: algo que, sin duda, corresponde en gran parte al italiano. En efecto, la concepción que tienen los practicantes de la ciencia de lo que constituye la esencia del método científico, en contraste con las alambicadas elucubraciones de los filósofos (y no digamos de los filósofos de la ciencia) se basa en dos cuestiones esenciales. La primera es el uso de las matemáticas. Esto es, no basta con decir "los cuerpos caen hacia el centro de la tierra": es necesario cuantificar, especificando numéricamente la velocidad y la aceleración a la que lo hacen, o la figura geométrica que describe la trayectoria de un proyectil.

La importancia de la matematización aparece en muchos lugares en la obra galileana; así, además de la cita con la que encabezamos este capítulo, ya en página 11 del "Dialogo", Galileo hace decir a Salicio

"Che i Pitagorici avesero in somma stima la scienza dei numeri, e che Platone stesso ammirase l'intelletto umano e lo stimase partecipe di divinità solo per intender egli la natura dei numeri".



Venecianos mirando por el telescopio de Galileo. Los descubrimientos astronómicos de este, junto con su teoría de la mecánica, fueron cruciales para establecer el sistema copernicano.

La segunda característica básica de la ciencia, sin duda la más importante, es el reconocer la primacía de la observación sobre los razonamientos *apriorísticos*.⁵

Esto ha ocurrido así desde Galileo quien, por otra parte, era plenamente consciente de su importancia y de haber sido él quien había introducido esta manera de pensar. En efecto, Galileo indudablemente estaba orgulloso de haber construido el primer telescopio auténtico, y haber sido el primero en escrutar el cielo con él; pero consideraba que su mayor mérito consistía en su capacidad para observar el mundo, para intentar comprender su comportamiento, y describir éste en términos matemáticos (es decir, precisos).

⁵ Que esto es así, que la característica principal de la ciencia es la primacía dada a la observación sobre el razonamiento apriorístico (más que la matematización) es evidente si se considera que obras como *El origen de las especies* de Darwin o *La interpretación de los sueños* de Freud, claves en sus ciencias respectivas, y que luego comentaremos, no contienen ni una sola fórmula o figura geométrica.

La opinión acerca de la primacía de Galileo es compartida por Einstein.⁶

"Las proposiciones que se obtienen por un proceso puramente lógico son vacías de contenido en lo que respecta a la realidad. Debido a que Galileo se dio cuenta de esto y, en particular, debido a que lo impuso en el mundo científico, debemos considerar a Galileo como el padre de la física moderna; y, de hecho, de toda la ciencia moderna."

Y, por citar de nuevo a Einstein: en el artículo escrito a propósito de su propio trabajo sobre la teoría del campo unificado en *Scientific American*, en abril de 1950, Einstein escribe

"El escéptico dirá: 'Puede muy bien ser cierto que este sistema de ecuaciones sea razonable desde el punto de vista lógico, pero esto no demuestra que corresponda a la naturaleza'. Tiene usted razón, querido escéptico. Sólo la experiencia puede decidir sobre la verdad".

Hoy en día estamos tan acostumbrados a creer en lo correcto de esta manera de pensar que nos resulta difícil darnos cuenta de la revolución que aceptar esta primacía representó para un mundo convencido de la validez de argumentos filosóficos o religiosos para decidir con ellos propiedades de la naturaleza.

Como hemos dicho antes, hay más de uno entre los libros de Galileo que se pueden considerar pilares de la nueva ciencia (o, simplemente, de *la ciencia*); yo aquí he escogido el "*Dialogo dei Massimi Sistemi*" porque es el de lectura mas grata y porque, en mi opinión, muestra, como ningún otro, la transición entre la aceptación de principios filosóficos y de autoridad, y la argumentación científica. En efecto, las abundantes referencias a Aristóteles que aparecen en la primera parte del texto van haciéndose escasas cuando el libro avanza. Y son, cada vez más, reemplazadas por argumentos puramente deductivos y, sobre todo, por la invocación de la observación experimental.

Los textos de Galileo crearon una intensa polémica en la Europa de su tiempo; como es sabido, la Inquisición interrogó, condenó y encarceló a Galileo; al que sólo el abjurar de su error de suponer que la tierra no está estática salvó de seguir el camino de Giordano Bruno, quemado públicamente –entre otras cosas– por mantener tal herejía. Herejía que, al menos formalmente, no fue aceptada por la Iglesia Católica hasta hace unos pocos años, cuando el Papa Juan Pablo II rehabilitó formalmente a Galileo.⁷

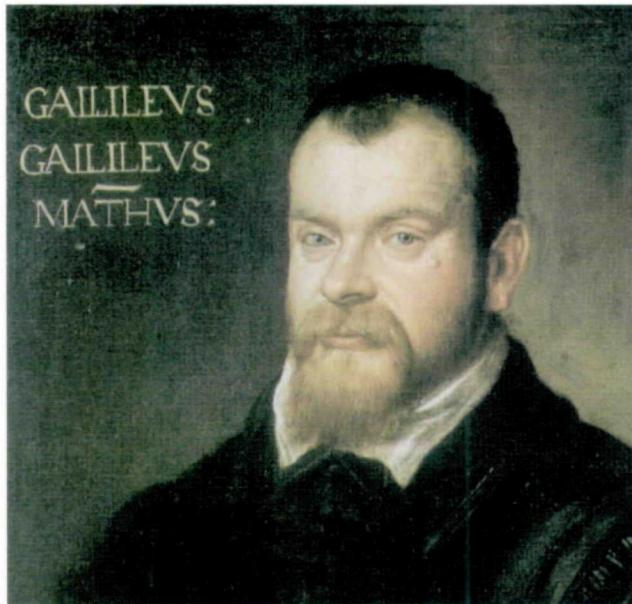
Pero, al menos, el poder secular aceptó bastante pronto la teoría heliocéntrica: por ejemplo, en la universidad de Salamanca, donde, según el estatuto de 1561 (impreso en Salamanca por Juan María de Terranoua en 1562), y en lo que se refiere a estas enseñanzas, en los títulos 1º y 2º, se lee:

"1. En la Cathedra de Astrología, el primer año se lea en ocho meses *Esphera* [esto es, geometría esférica] y *Thóricas de planetas*, y unas tablas; en la sustitución, *Astrolabio*.

2. En el segundo año, seys libros de Euclides y Aritmética, hasta las raíces cuadradas y cúbicas y el Almagesto de Ptolomeo, o su epítome de Monte Regio [Regiomontanus, que desarrolló y compiló la trigonometría plana y esférica], o Geber, o Copérnico, al voto de los oyentes; en la sustitución, la *Esphera*."

⁶ La cita de Einstein la he tomado del libro de D. Sobel, "*Galileo's Daughter*", página 341.

⁷ Cabe preguntarse hasta qué punto fue influenciado Karol Woytiła por el hecho de que la teoría heliocéntrica fuese propuesta, en primer lugar, por un paisano suyo, Nicolás Copérnico.



Galileo Galilei, con poco más de cuarenta años.

La Universidad de Salamanca resultaba ser pionera en explicar la teoría de Copérnico,⁸ y la primera en aceptarla. En efecto, pocos años después, y debido a que proporcionaba medidas más exactas para los cálculos astronómicos que la tradicional geocéntrica, fue adoptada en primacía sobre las ideas ptolemaicas, como consta en los estatutos de 1594: “el segundo quadrenio léase a Nicolao Copérnico y las tablas plutérnicas en la forma dada”.

En esto, como en tantas otras cosas, la Europa del siglo XVII se escindió en dos campos: el católico y el protestante. En el primero las ideas de Copérnico y Galileo fueron proscritas (en la Universidad de Salamanca, a principios de los 1600) hasta que, en la Ilustración, la apabullante evidencia las hizo volver al currículum. En la Europa protestante estaban universalmente aceptadas ya a finales del siglo XVII.

Pero volvamos al texto de Galileo. Como ya hemos dicho, en él se va olvidando de argumentos de autoridad para pasar a utilizar razonamientos matemáticos y, sobre todo, a basarse en observaciones experimentales. Con respecto a los primeros, tenemos en las primeras páginas del “*Dialogo*” la cita a Pitágoras y Platón que ya hemos mencionado; y en las páginas 33 y 53, Galileo cita a Aristóteles y, de nuevo, a Pitágoras como autoridades que justificasen el recurso a la observación y el experimento. Pero ya en la página 81, Salicio anuncia que

⁸ Copérnico expuso su teoría en los seis libros “*De revolutionibus orbium celestium*”, impresos en el último año de su vida en 1543; pero sólo alcanzaron popularidad después de la publicación, en 1566, de la edición de Basilea. Y, por otra parte, fue gracias a los descubrimientos de Galileo que la teoría heliocéntrica logró una base firme.

"Or vedete quanto bisogna andar cauto e riservato nel prestare assenso a quello che solo il discorso ci rappresenta. Non ha dubbio che questo che voi dite ha assai dell'appARENte; tuttavia potete vedere come la sensata esperienza mostra lo contrario".

Como nos recordaba Einstein, primacía de “la sensata experiencia.” Y, tal vez aún más claramente, Galileo propugna el abandono de los argumentos de autoridad cuando, en la página 122, Sagredo dice a Simplicio que “lo que decís no disminuye en nada la extravagancia de la respuesta del Peripatético, el cual, contra la sensata experiencia, no indica otros experimentos o razones de Aristóteles, sino su única autoridad y el puro *ipse dixit*.”

Y así prosigue a lo largo del resto del libro, liberándose de la tutela de los filósofos clásicos y basándose únicamente en argumentos racionales, en particular geométricos, confirmados por el experimento: como ocurre (por citar un último ejemplo) en la famosa disertación sobre la relatividad del movimiento, en las páginas 196 y siguientes: la nueva ciencia, y una buena parte de la mecánica, están ya establecidas aquí.

3. Los Fundamentos Físicos de la Mecánica Cuántica, de Heisenberg

““This problem of getting the interpretation proved to be rather more difficult than just working out the equations”.

P. A. M. DIRAC, Hungarian Acad. Sci. Rep., KFK-62, 1977.

Podríamos comenzar este capítulo⁹ con la famosa frase de Einstein, “Lo más misterioso del cosmos es que podemos comprenderlo” (la cita no es textual). Como veremos más adelante, una de las características más importantes de la mecánica cuántica es que sus paradojas lo son, o dejan de serlo, según la actitud que tomemos respecto a la afirmación que acabamos de mencionar. La situación es, indudablemente, chocante; pero, precisamente, lo fascinante de la ciencia es que nos hace llegar a descubrir cosas insospechadas. Al menos para el que esto escribe, el haber alcanzado el dominio en el que, parafraseando a Einstein, el universo es incomprensible, representa –un tanto paradójicamente– uno de los más grandes logros del intelecto humano. Y, sin duda, Heisenberg fue personaje básico para formular la mecánica cuántica y, con ello, llevarnos a esa región de indeterminación e incertidumbre donde la lógica del universo deja de ser coherente con la del ser humano.

Cuando se menciona la palabra “actitud” se está, en cierto modo, involucrando la psicología; y es que la cuestión de la naturaleza satisfactoria o no de las formulaciones cuánticas es, en buena parte, no-científica o, al menos, independiente de la validación científica. En efecto, muy pocos científicos (incluso entre los que se sienten insatisfechos con la formulación ortodoxa de la mecánica cuántica) dudan de que las pruebas experimentales, único criterio científico de validación, confirman las predicciones cuánticas. La insatisfacción con esta teoría se da, cuando se da, a otro nivel; llamémoslo filosófico o psicológico.

⁹ Este capítulo está basado en buena parte en uno de los diez ensayos recogidos en mi libro *Los desafíos de la ciencia*.



Werner Heisenberg de joven.

Antes de entrar en materia quiero hacer una distinción importante. Ante cualquier afirmación científica revolucionaria que, en particular, parezca contradecir nuestra experiencia cotidiana, hay siempre personas que se rebelan, como ocurrió con respecto a las teorías de Copérnico o Darwin. Al ir pasando el tiempo, estos grupos se quedan en general reducidos a gentes simples, ignorantes o incompetentes; o, tal vez, fanáticos. Por ejemplo, aún hoy existe en los Estados Unidos la “*Flat Earth Society*” que escribía cartas a revistas profesionales (tal *Physics Today*) cuando se lanzaban satélites artificiales con explicaciones de cómo esto no invalida su idea de que la tierra es plana y ellos pueden explicarlo perfectamente. Las andanzas en este mismo país de los *creacionistas*, que rechazan la teoría de la evolución de las especies, las comentaremos más adelante. En España hemos sufrido (por el poder personal que acaparó) a uno de estos incompetentes que se negó a aceptar la teoría de la relatividad.

Este tipo de personajes no son los que nos interesan aquí. A diferencia de la oposición a la teoría copernicana o la relatividad, la insatisfacción con respecto a la mecánica cuántica afecta a científicos muy prestigiosos. Entre ellos, tres de los creadores de la propia teoría: Schrödinger, de Broglie y el propio Einstein. Más modernamente, John Bell, Fred Hoyle o Richard Feynman, que confesaba que sabía utilizarla, pero no la entendía. Y, en la actualidad, Murray Gell-Mann y Gerard 't Hooft siguen todavía buscando alternativas a la formulación ortodoxa. Unas objeciones defendidas por personas tan competentes merecen ser discutidas.

Paradojas de la mecánica cuántica: ondas que son partículas

Como una primera paradoja consideramos el hecho de que los objetos, en mecánica cuántica, se comportan a veces como ondas y a veces como partículas: a pesar de que estos entes tienen propiedades contradictorias. En primer lugar, tenemos que las partículas llegan *de una en una* al detector, pero las ondas llegan de forma continua. Y, en segundo lugar, las ondas interfieren pero las partículas no. Parece, por tanto que ambas entidades, ondas y partículas, son bien distintas y fáciles de diferenciar.

Pero supongamos ahora que realizamos un típico experimento con rendijas de Young, pero con electrones,¹⁰ y con rendijas microscópicas; típicamente, del orden de las distancias interatómicas, una millonésima de milímetro. Entonces, encontramos que hay interferencias, con lo cual parece que debemos concluir que el electrón no es una partícula, sino una onda. La posibilidad de un carácter ondulatorio del electrón fue sugerida, en 1923, por Louis de Broglie, que también indicó un posible método de detectar las correspondientes interferencias, en difracción de partículas subatómicas por redes cristalinas. Estas fueron observadas experimentalmente poco después.

Pero esta hipótesis no es aceptable sin más: en efecto, los electrones no llegan de forma *difusa* al detector (como lo hacen las ondas ordinarias), sino que lo hacen de uno en uno, tal como ocurriría si fuesen partículas.

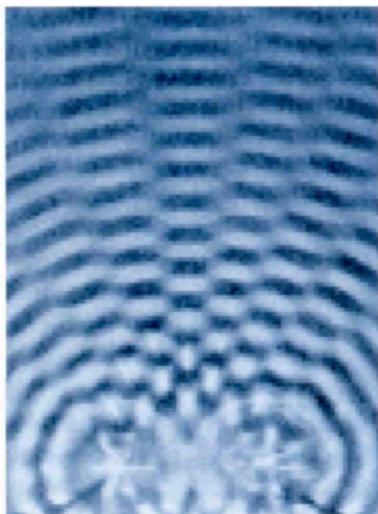
La solución a esta paradoja la dieron Max Born y, con más profundidad, Werner Heisenberg, entre 1925 y 1927, y se encuentra discutida en detalle en el libro que estamos comentando, “*The Physical Principles of the Quantum Mechanics*”.¹¹ Born propuso interpretar la amplitud de la “onda” del electrón en un punto como una *amplitud de probabilidad*; de forma que su cuadrado –que, si el electrón fuese una onda ordinaria, mediría su intensidad– nos proporciona la *probabilidad de encontrar el electrón en un punto dado*.

Puesto que, según esto, no podemos saber exactamente dónde está el electrón, resulta que, a nivel microscópico, las partículas no tienen una trayectoria bien definida. De hecho, se cumplen las famosas relaciones de incertidumbre de Heisenberg: el producto de la indefinición en la posición de un electrón y la indefinición en su velocidad son del orden de una constante característica de los fenómenos cuánticos, dividida por la masa de la partícula. Esta constante es la llamada *constante de Planck*; se denota por el símbolo \hbar (“hache con barra”) y es de valor aproximado (en unidades de centímetros, gramos y segundos) $\hbar = 10^{-27}$: una milésima de billonésima de billonésima.

Por supuesto, esta pequeñez es la que hace que los fenómenos cuánticos no sean perceptibles, en general, en objetos (partículas u ondas) macroscópicos; aunque hay excepciones. Por ejemplo, la superconductividad, que es un típico fenómeno cuántico, afecta a conductores macroscópicos. Más adelante veremos otro ejemplo (las propiedades termodinámicas de un gas de partículas idénticas).

¹⁰ Consideramos electrones para fijar ideas; el argumento es válido para cualquier tipo de partículas microscópicas.

¹¹ Este libro contiene una serie de conferencias dictadas por Heisenberg en los EE UU; escritas en alemán, fueron traducidas simultáneamente al inglés.



Fotografía de la figura de interferencia entre dos ondas, en una superficie de agua.

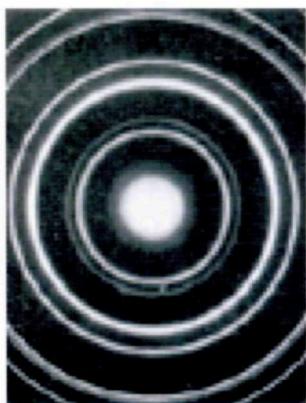


Imagen de difracción producida por electrones al atravesar una red de átomos (oro cristalino).

Al igual que la mecánica clásica de Galileo y Newton tiene sus ecuaciones que nos describen el movimiento de las partículas, la evolución en el tiempo de las amplitudes de ondas cuánticas, conocidas como *funciones de onda*, vienen dadas por otras ecuaciones, notablemente por las introducidas por Schrödinger en 1926. Sin embargo, a diferencia de las ecuaciones de Newton, las de Schrödinger *no* describen la trayectoria del electrón –ya hemos dicho que los electrones no tienen trayectoria definida– sino que gobiernan la evolución de probabilidades. Las ecuaciones de Schrödinger son perfectamente coherentes y bien definidas desde el punto de vista matemático y por tanto, aparentemente, no hay lugar para pensar en paradojas.

El problema de la medida

La situación es, sin embargo bastante compleja: y las complicaciones aparecen en cuanto comenzamos a hurgar en el significado de la frase “probabilidad de encontrar el electrón”.

Las dificultades son de distintos tipos, algunos de los cuales veremos a continuación. Cuál de ellos es más grave es, en mi opinión, una cuestión de disposición filosófica personal.

Las más importantes dificultades están relacionadas con el hecho de que la mecánica cuántica contiene intrínsecamente al azar. Según la mecánica cuántica, si preparamos a un electrón de una manera bien determinada, con un dispositivo dado, al cabo de un tiempo t lo detectamos con un detector D en un cierto punto, digamos en el punto que denotaremos por x_1 . Podemos repetir el experimento: volver a preparar un electrón *exactamente* como antes, y esperar el mismo intervalo de tiempo t que la primera vez. Sin embargo, ahora lo detectaremos en un punto x_2 que, en general, es *distinto* de x_1 . Aparentemente no podemos saber dónde va a parar cada electrón individual: sólo podemos decir que lo encontraremos más veces en aquellos puntos en los que la probabilidad sea mayor. Esta arbitrariedad es la que molestaba profundamente a Einstein, y la que motivó su famosa frase “Dios no puede estar jugando a los dados”. Incidentalmente, esta frase identifica bastante bien el carácter metafísico¹² de las objeciones de Einstein.

El segundo problema está relacionado con el primero, y se le conoce como “el problema de la medida en mecánica cuántica.” El meollo de la cuestión está, de nuevo, en la frase que dice que “el cuadrado (del módulo) de la función de onda es la probabilidad de encontrar el electrón en un punto x , en un instante de tiempo t dado”. En efecto: a pesar del carácter probabilístico del microcosmos, una vez hemos hecho la medida (digamos con el detector D) resulta que hemos encontrado al electrón en un punto; por ejemplo, al primer electrón de la discusión de un párrafo anterior lo hemos encontrado en el punto x_1 . Aparentemente esto indica que, si bien el electrón obedece las leyes cuánticas, el aparato de medida no: o bien encuentra al electrón en un punto, o en otro.

Para ser consistentes, deberíamos abandonar el determinismo también para el aparato de medida y, en lugar de decir que éste detecta al electrón en un punto u otro, deberíamos especificar que el detector D viene descrito por una nueva función de onda, cuyo cuadrado es la probabilidad de que el aparato detecte al electrón en un punto u otro. Pero ésto sólo desplaza el problema: ¿cómo sabemos dónde se detectó el electrón? Pues mirando al detector D con *otro* aparato de medida, digamos D_2 , que nos dirá en qué estado quedó D . Y así podemos seguir indefinidamente, con la conclusión de que, si queremos ser consistentes, no podemos decir nada. El problema de la medida es mucho más profundo de lo que en un principio pueda parecer.

Las respuestas ortodoxas a estas cuestiones están resumidas en el texto de Heisenberg. Dichas respuestas son las formuladas básicamente por Niels Bohr y W. Heisenberg, y son conocidas como “la interpretación de Copenhague” debido a que la interpretación comúnmente aceptada de la mecánica cuántica se elaboró, en buena medida, en aquella ciudad, en torno a Bohr.

La respuesta a la primera cuestión, al carácter probabilístico de la naturaleza, puede resumirse en la que dio Bohr a Einstein. A la *boutade* de este (“Dios no puede estar jugando

¹² La palabra *metafísico* no se utiliza aquí en sentido peyorativo sino que, simplemente, indica algo que está más allá de la física. La frase de Einstein también se cita a veces como “Un Dios jugando a los dados es demasiado ateísmo”.

a los dados") Bohr opuso otra: "Deja de decirle a Dios lo que tiene que hacer". De otra manera: la naturaleza no tiene por qué comportarse como le gustaría a Einstein.

La respuesta al problema de la medida es también la dada por Bohr. Los aparatos de medida son macroscópicos; constan de infinidad de partículas (del orden de billones de billones). Dada la pequeñez de los efectos cuánticos, podemos despreciarlos para dichos aparatos y tratarlos como si fuesen objetos clásicos. De hecho, lo mismo hay que suponer del aparato que nos sirve para *preparar* el estado de un electrón. Según Bohr, no es posible ir más allá. Aunque parezca inconsistente, la mecánica cuántica lo único que nos permite es hacer predicciones sobre objetos –digamos, electrones– que consideramos como cuánticos, pero a los que preparamos y observamos con aparatos que tratamos como si fuesen clásicos: y esencialmente lo mismo manifiesta Feynman (a quien volveremos en un momento) en sus famosas "*Lectures on Physics*" o en sus "*Lectures on Gravitation*".

Por decirlo, para empezar, con palabras de Bohr,

"Strictly speaking, the mathematical formalism of quantum mechanics and electrodynamics merely offers rules of calculation for the deduction of expectations about observations obtained under well-defined experimental conditions, specified by classical physics concepts".

La explicación de Bohr, sin embargo, no especifica cuándo un objeto debe considerarse como clásico: cuándo un aparato es un aparato de medida, y cuándo debe tratársele como un objeto cuántico. No sabemos en qué momento debemos considerar que algo es real (esto es, que ha ocurrido definitivamente) y hasta dónde debemos, por el contrario, considerar una estructura meramente probabilística: quién es el observador, y quién el observado.

La inconsistencia se pone bien de manifiesto en los comentarios que Feynman hace acerca de la cuestión cuando discute si es necesario un tratamiento cuántico de la gravitación (por el momento, inexistente) y, con su inimitable estilo, claro y desenfadado, revisa los problemas epistemológicos de la mecánica cuántica:

"Now, the philosophical question before us is, when we make an observation of our track in the past, does the result of the observation become real in the same sense that the final state would be defined if an outside observer were to make the observation? This is all very confusing, especially when we consider that even though we may consistently consider ourselves always to be the outside observer when we look at the rest of the world, the rest of the world is at the same time observing us, and that often we agree on what we see of each other. Does this mean that my observations become real only when I observe an observer observing something as it happens? This is a horrible viewpoint. Do you seriously entertain the thought that without the observer there is no reality? Which observer? Is a fly an observer? Is a star an observer?"

[En *Lectures on Gravitation*, CalTech, 1963].

Incluso los más violentos detractores de la mecánica cuántica admiten que las respuestas de la escuela de Copenhague resuelven el problema, *a nivel pragmático* (o, en frase de John Bell, "a todos los efectos prácticos"). Utilizándolas se puede predecir el comportamiento de la materia a escala microscópica con una increíble precisión, en algunos casos

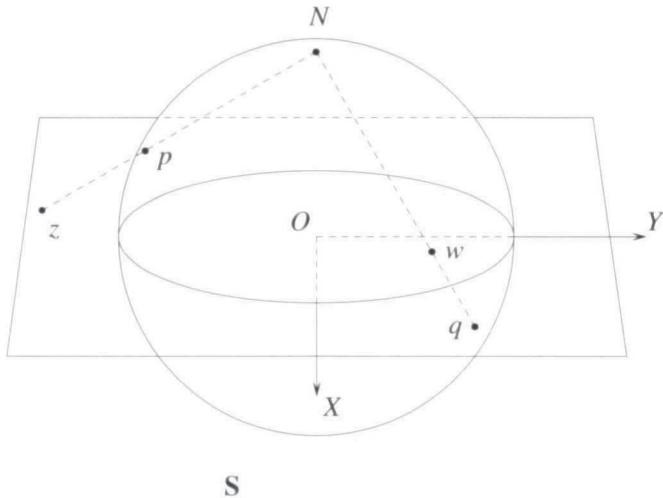
de hasta diez cifras decimales exactas, en acuerdo aplastante con la infinidad de experimentos realizados. Y con unos importantes éxitos de aplicación práctica: microscopios electrónicos, transistores, cámaras fotoeléctricas o energía nuclear son solo unos pocos de entre una miríada de ejemplos.

Pero la cuestión no es de éxito, sino de principios. Newton comparó la tarea del científico a la de un niño que recogiese conchas a la orilla del mar, queriendo así poner de manifiesto la pequeñez de los conocimientos que la naciente ciencia iba adquiriendo en comparación con el aparentemente ilimitado mundo que quedaba por explorar. A pesar de su aparente modestia, este punto de vista muestra una buena dosis de optimismo y también tiene algo de presuntuoso. En efecto, Newton y prácticamente toda la ciencia y la filosofía de su época, y aún la de los dos siglos posteriores (con apenas la excepción de Hume), ignoraban la posibilidad de que existieran barreras naturales a la acumulación del saber, e incluso fronteras intrínsecas al propio conocimiento. Por otra parte, tanto Galileo como Newton y muchos de sus seguidores partían de un principio francamente optimista, a saber, la compatibilidad de la mente humana con el universo exterior.¹³ Hipótesis que, en buena medida, subyace a la concepción filosófica de Einstein: recuérdese su frase ya citada, de que “lo más misterioso del cosmos es que podemos comprenderlo”. En este sentido, podemos considerar a Einstein como el último newtoniano.

Pero desde la época de Newton, incluso desde antes, había serias indicaciones de que el lugar aparentemente central que el hombre ocupa en el universo se debe, simplemente, a que los propios sentidos humanos nos hacen insensibles a lo que está muy alejado de nosotros: ya sea en tamaño o conceptualmente. El primer ejemplo de destronamiento del ser humano del centro de la creación fue el establecimiento del sistema heliocéntrico por Copérnico y Galileo. De centro del universo la tierra, el *habitat* del hombre, pasó a un suburbio del sistema solar. Más adelante hemos sabido que el lugar de la tierra es aún mucho más periférico: situada en un brazo de una galaxia que contiene otros muchos cientos de millones de sistemas solares. Galaxia que, a su vez, ocupa poco más de una billonésima parte del universo conocido. Que, además, y si algunas modernas teorías sobre el “big bang” son correctas, no es sino uno entre una infinidad de universos. Sería muy sorprendente que las concepciones de la mente humana, obtenidas de la interacción con una fracción minúscula del universo, se pudiesen aplicar a todo él; en particular, a dominios tan alejados de nuestra experiencia como el universo microscópico. Y así, como ejemplo, tenemos que la geometría que nos resulta intuitivamente correcta, la de Euclides, no es la más apropiada para describir el universo si queremos ser muy precisos: algo que ya hemos discutido.

Sin embargo, parece que podemos aún salvar la situación: es posible desarrollar un instrumento matemático (las geometrías no-euclídeas) que la experiencia nos indica son las apropiadas al universo real. Para entenderlas, sin embargo, es necesario reducirlas, “hacer un mapa” del espacio curvo sobre un espacio llano, como el que nuestra mente comprende

¹³ Esta hipótesis es de hecho muy anterior a Galileo o Newton y subyace a la mayor parte de la filosofía griega. La famosa frase, *el hombre es la medida de todas las cosas* tiene varias interpretaciones; pero sin duda una de ellas implica una creencia en la capacidad humana para medir, y comprender, el universo.



Proyección estereográfica. El punto z en el plano es la imagen del punto p en la esfera, \mathbf{S} , y el punto w la imagen de punto q en \mathbf{S} . El hemisferio inferior se representa bastante bien; el superior, muy distorsionado. El “polo norte,” N en la figura, no tiene imagen en el plano.

de forma intuitiva. Esto es lo que matemáticamente se conoce como introducir sistemas de coordenadas. A pesar de esto, a pesar del abandono de la geometría intuitiva, parece que podemos aún repetir la frase de Einstein citada al principio y maravillarnos de que (con cierto esfuerzo, es verdad) el universo siga siendo comprensible. Aparentemente, ya que no la geometría, al menos nuestra lógica sí que podría tener un carácter “evidente por sí mismo”, “apriorístico” y, además, ser la misma que la del universo.

Un ejemplo aclarará lo que quiero decir. Consideremos la superficie de la tierra, que es una superficie curva. Si queremos representarla en una superficie llana, tenemos que pasarla a un mapa plano. Pero esto es imposible hacerlo sin realizar distorsiones; e incluso, aceptando distorsiones, nunca podremos representar *todos* los puntos de la tierra sobre nuestro mapa. Por ejemplo, en la proyección estereográfica (una de las más comúnmente usadas) el polo norte se va al infinito, y el terreno en su vecindad se representa de forma completamente distorsionada: en esta proyección, Groenlandia parece casi tan grande como Sudamérica. Como mostramos en la figura, siempre hay un punto de la esfera que no tiene correspondencia sobre el plano. *La representación de la geometría del universo sobre la euclídea, que nuestra mente comprende intuitivamente, no puede hacerse de forma exacta.* Siempre habrá distorsiones y puntos que ni será posible representar.

Desgraciadamente, o afortunadamente, algo parecido ocurre con la lógica. Hay una evidencia aplastante de que la lógica no es más apriorística que los postulados de Euclides, y

que tampoco nuestra lógica coincide exactamente con la de la naturaleza. Por el momento vamos a explicar brevemente algunas de las razones de consistencia interna que indican que la lógica ordinaria (que podemos llamar aristotélica) no es la única, e incluso presenta desasosegantes inconsistencias, dejando para después el discutir la lógica de la naturaleza, en relación con la mecánica cuántica.

En primer lugar, tenemos que en el siglo XX se han desarrollado lógicas no-aristotélicas. Por ejemplo, lógicas polivalentes que no respetan la ley del *tertio excluso*, que afirma que una proposición ha de ser verdadera o falsa, sin posibilidades intermedias. En las lógicas polivalentes se aceptan posibilidades intermedias; y se ha demostrado que tales lógicas son tan consistentes como la bivalente tradicional. Esto, por supuesto, indica que si la mente humana ha escogido la lógica aristotélica se debe, simplemente, a que es la más apropiada para tratar con el mundo objetivo; no a que sea la única posible. El paralelismo con la geometría euclídea es evidente.

Pero la situación es más compleja todavía. El gran lógico y matemático Kurt Gödel demostró, entre los años 1931 y 1940, una serie de teoremas que minan por completo la confianza en las capacidades y objetividad de la lógica y las matemáticas. Incluso dentro de la lógica y aritmética ordinarias, Gödel probó que existen proposiciones que son inde-
mostrables; y existen otras que pueden considerarse ciertas o falsas a voluntad, sin que ninguna de las dos posibilidades lleve a contradicción.

Todo esto nos hace mirar a la lógica con una cierta prevención, y preguntarnos si la lógica del universo coincide con la nuestra. Al igual que un habitante de las cercanías de un agujero negro hubiese aceptado como geometría intuitiva una geometría curva, no-euclídea, es posible imaginar un universo en que lo natural fuese una lógica no-aristotélica. Y, en efecto, veremos que la evidencia experimental que tenemos nos indica que la lógica de nuestro universo, a escala microscópica, no es aristotélica.

Más paradojas de la mecánica cuántica: partículas idénticas que se comportan de forma distinta

"Por mi parte le responderé (a Russell) que no hay logica ni epistemología independientes de la psicología."

H. POINCARÉ, *Últimos pensamientos*.

Las paradojas de la mecánica cuántica no se limitan a la aparición del azar y de la indeterminación como algo intrínseco, aunque, en un último análisis es el principio de incertidumbre el que acaba por levantar una barrera entre la realidad cuántica y nuestra intuición. Intuición que está basada en fenómenos macroscópicos para los que la incertidumbre cuántica es tan pequeña como para ser indetectable. En este apartado vamos a describir una más de las paradojas, que tiene dos importantes características: una, el provocar efectos macroscópicos; otra, el poner de manifiesto con gran claridad la diferencia entre la lógica de la mecánica cuántica y la del ser humano.

Consideremos un gas formado por partículas de tritio. El tritio es un isótopo de hidrógeno que tiene las propiedades, interesantes para nosotros, de poder ser enfriado a

muy bajas temperaturas conservando su calidad de gas y, además, la de ser inestable. En efecto, los átomos de tritio se desintegran¹⁴ en un tiempo medio de unos doce años y cuatro meses. Esto no quiere decir que cada átomo de tritio dure exactamente doce años y cuatro meses. En nuestra muestra de tritio unos átomos se desintegrarán en unos pocos segundos, otros en horas o meses, algunos en varios años; y los habrá que durarán incluso siglos. Lo más que podemos decir es que en promedio, al cabo de doce años y cuatro meses, se habrán desintegrado la mitad de los átomos: pero de cada átomo individual no podemos decir nada.

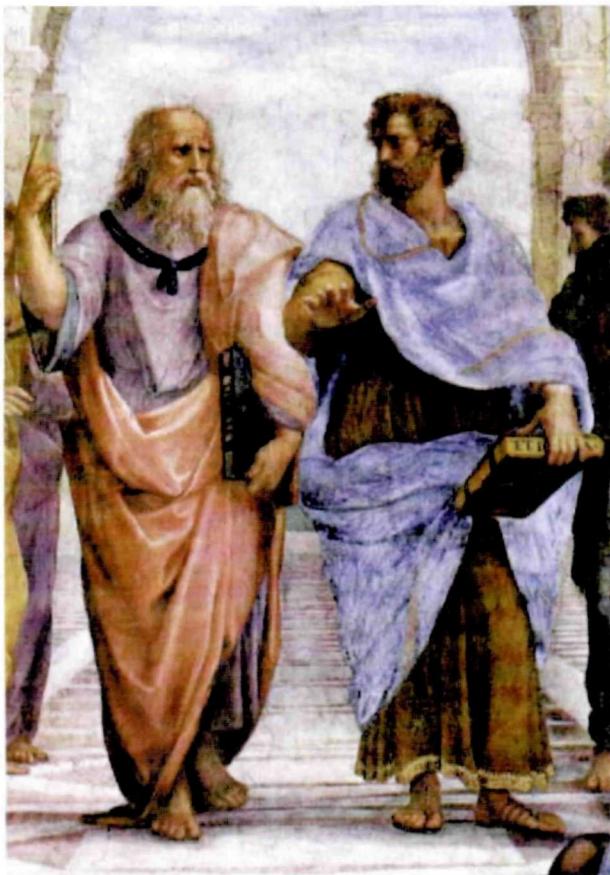
Aparentemente esto indica que todos los átomos de tritio no son idénticos; estaría uno tentado de decir que tienen unas propiedades internas que en el estado actual de nuestros conocimientos son aún ignoradas: pero que, si las conociésemos, nos indicarían qué átomos se iban a desintegrar en cada momento, y no sólo estadísticamente. A estas variables que, en una teoría más avanzada que la mecánica cuántica nos permitirían evitar el carácter aleatorio de la misma, se les llama *variables ocultas* y han sido (infructuosamente) buscadas durante muchos años por físicos insatisfechos con (por decirlo con la frase de Einstein) “un Dios que juega a los dados”.

Sin embargo estas variables, que tienen pocos visos de ser ni siquiera posibles, no resolverían el problema de la identidad de los átomos de tritio; y ello debido a la diferencia fundamental entre los conceptos de *identidad* en mecánica y lógica ordinarias, y en mecánica cuántica. En efecto, consideremos dos átomos de tritio. Si tienen *todas* sus propiedades idénticas son indistinguibles: pero *completamente* indistinguibles. En efecto, en mecánica clásica podemos decir de dos de estos átomos, en un momento dado, que “éste es el átomo que está en el lugar *A*, y éste otro el que está en el lugar *B*”. Cuánticamente, sin embargo, esta distinción no es posible. Debido al principio de incertidumbre, no podemos saber exáctamente dónde está cada átomo, ni a qué velocidad se mueve y, por consiguiente, la identificación que hemos hecho no se mantiene en instantes posteriores.

La sorprendente conclusión de esta identidad total es que *todas* las propiedades del sistema tienen que quedar inalteradas si reemplazamos un átomo por otro, ya que no podemos distinguirlos: ni aún por el lugar en que está cada uno, ya que este lugar está indeterminado. Las consecuencias de esto son extremadamente importantes y, en particular, explican por qué la materia es prácticamente incompresible. La teoría de sistemas de partículas idénticas fue desarrollada por Fermi, Dirac y Pauli y, para sistemas como el de un gas de tritio, por Bose y Einstein. Fijándonos en este caso, resulta que las propiedades térmicas de un gas de partículas idénticas son (incluso a nivel macroscópico) totalmente distintas, a bajas temperaturas, de las de un gas de otras partículas que pudieran distinguirse entre sí. Huelga decir que la evidencia experimental confirma las predicciones de la mecánica cuántica y tenemos pues que el *experimento* nos obliga a admitir la existencia de partículas absolutamente idénticas, algo considerado absurdo por los filósofos clásicos: como dice Wittgenstein,

“Hablando en general, resulta que decir que dos cosas son idénticas es un sinsentido; y decir que una cosa es idéntica a sí misma es no decir nada”.

¹⁴ Los átomos de tritio se desintegran en un isótopo de helio, conocido como ^3He , un electrón y un anti-neutrino.



Platón y Aristóteles en la Academia; detalle del fresco de Rafael Sanzio, en el Vaticano.

(Ludwig Wittgenstein, *Tractatus Logico-Philosophicus*, proposición 5.5303). El conocido principio escolástico de *identidad de los indiscernibles* (al que alude Wittgenstein) es taxativamente violado por la realidad.

Pero la situación es aún peor: estas partículas *idénticas*, tienen vidas distintas.¹⁵ La contradicción con la lógica tradicional no puede ser más clara: los átomos de tritio no pueden distinguirse en nada ya que, de lo contrario, sus propiedades térmicas serían distintas de las observadas. Pero sin embargo se comportan diferentemente en tanto que tardan distintos períodos de tiempo en desintegrarse.

Comentarios finales

Es por supuesto posible, al menos en principio, que en el futuro se descubra una nueva teoría que tenga a la mecánica cuántica como una aproximación pero en la que se pueda describir coherentemente todo el universo. A mi, personalmente, me parece esto muy poco

¹⁵ Este tipo de argumento ha sido considerado, p. ej., por Res Jost, en el libro *Some Strangeness in the Proportion*, página 252, para demostrar la imposibilidad de existencia de variables ocultas.

probable, y ello por dos motivos. En primer lugar, el problema lleva preocupando a los físicos más de setenta años, y en intentar resolverlo se han afanado algunas de las mentes más brillantes del siglo XX: desde Einstein y Schrödinger hasta Gell-Mann y 't Hooft, sin éxito alguno. En segundo lugar, esta nueva teoría tiene que pasar el extraordinariamente estricto test de mejorar el acuerdo de la mecánica cuántica con el experimento que, como ya mencionamos, llega hasta once o doce decimales significativas. Lo más probable es que la falta de coherencia de la descripción de la realidad por la mecánica cuántica sea una característica intrínseca de la propia naturaleza.

Desde el punto de vista científico, esto es, de validación experimental, la mecánica cuántica no tiene problemas; pero también es comprensible la actitud de los que, científicos o filósofos, se sienten incómodos con ella. Ya Galileo nos mostró que la lógica por ella misma no puede proporcionarnos conocimiento de la realidad, en contra de lo que pensaban los filósofos de la antigüedad; pero la mecánica cuántica no respeta ni siquiera a la propia lógica, tal como había sido formulada desde Aristóteles y Platón hasta Russell y Wittgenstein.

En efecto: de los grandes principios de la lógica y la filosofía tradicionales (*Natura non fecit saltus; ex nihilo, nihilo; principio del tertio excluso; mismas causas producen mismos efectos, por citar unos pocos*) la teoría de los *quanta* no deja ni los rabos. Y, además, dicha teoría renuncia a presentar una visión completa coherente del universo (el problema de la medida) y trabaja con una noción de probabilidad que no puede definirse con precisión.¹⁶ En este sentido, lo más importante de este “pilar de la sabiduría”, desde el punto de vista filosófico, es que nos indica la alteridad del universo, su carácter inhumano; y nos invita a desconfiar de nuestras intuiciones y certezas, incluso las lógicas.

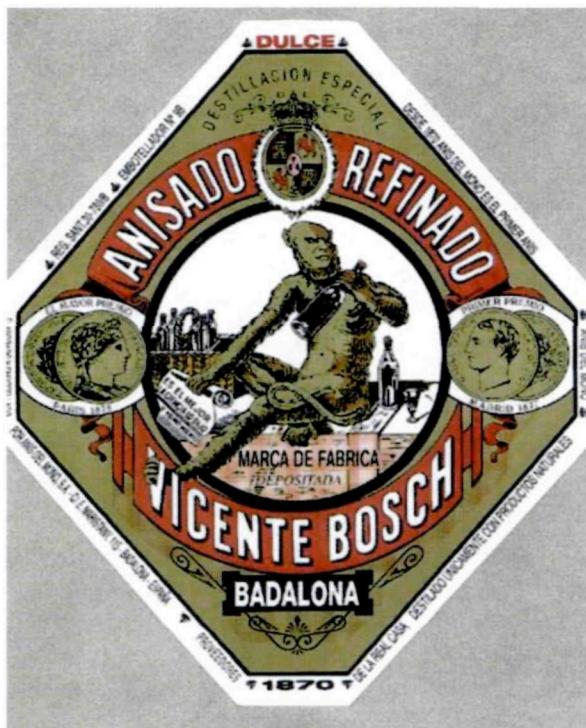
4. El Origen de las Especies, de Darwin

“Del mismo modo, además, es difícil evitar el personificar la palabra Naturaleza; pero, por Naturaleza quiero sólo decir la acción y el resultado totales de muchas leyes naturales; y, por leyes, la sucesión de hechos, en cuanto son conocidos con seguridad por nosotros.”

C. DARWIN, *El origen de las especies*.

La teoría científica de la evolución de las especies y del origen animal de los propios seres humanos fue propuesta por Darwin en dos textos fundamentales: “*The Origin of Species*” y “*The Descent of Man*”. La primera obra, publicada por primera vez en 1859, antedatada a la segunda, que apareció en 1871, en 12 años. Aquí me referiré principalmente a la primera. En realidad, podemos decir que “El origen del hombre” es un simple corolario de “El origen de las especies”; y es más que probable que Darwin no incluyera la cuestión de la evolución de los seres humanos en la primera obra por intentar minimizar el choque que tales teorías

¹⁶ Una discusión de por qué la noción cuántica de probabilidad no puede definirse con precisión puede verse en mi ensayo antes citado (en *Los desafíos de la ciencia*).



La cara del animal mostrado en la etiqueta del conocido licor “Anís del Mono” es, apenas disimulada, una caricatura de Charles Darwin.

iban a tener en la sociedad de su época. En efecto, la única referencia al ser humano en *El origen de las especies* es una mención oblicua, casi al final (en la página 458).

Un choque que, en efecto, se produjo: y de qué manera. Si, como hemos dicho anteriormente, la obra de Copérnico y Galileo causó una revolución, la de Darwin no fue menos: de hecho, la polémica acerca de su teoría de la evolución aún perdura; si bien hace tiempo que no en medios científicos. Desde el principio grandes biólogos, como Huxley y Hookes, la aceptaron con entusiasmo;¹⁷ pero, también desde el principio, recibió feroces ataques. Y así como el trabajo de Galileo fue perseguido por la Iglesia, pero aceptado por los medios académicos y las autoridades civiles con relativa rapidez, la teoría de la evolución, aunque también aceptada con razonable rapidez por los medios académicos, sigue siendo objeto de persecución. Desde la prohibición, a principios del siglo XX, de explicar las ideas de la evolución en las escuelas de Kentucky (llegando hasta a juzgar y condenar, en 1925, al maestro John Scopes por enseñar el darwinismo) hasta los más recientes intentos, tanto

¹⁷ Un curioso homenaje fue el que, en la atrasada España de 1872, rindió el comerciante barcelonés Vicente Bosch a Charles Darwin: diseñó la botella del después famoso “Anís del Mono” con una etiqueta en la que un primate muy humano presentaba unas botellas sosteniendo, a la vez, un pergamo que proclamaba: “Es el mejor. La Ciencia lo dijo y yo no miento”. El primate tiene la cara idéntica a la de Darwin.

por parte de George Bush como de algunos estados de la *Bible Belt* de los EE UU, de imponer la enseñanza de la “teoría” creacionista simultáneamente con la evolucionista. Por no hablar de la pretensión, inspirada por los horribles gemelos Lech y Jaroslaw Kaczynski, en la actualidad Presidente y Primer Ministro de Polonia, de proscribir la enseñanza de la teoría de la evolución en las escuelas de su país.

Por supuesto es imposible rechazar una explicación religiosa a la realidad del mundo en el que nos encontramos: el universo es así porque una entidad superior, ya sea un Dios personal como el de la tradición judeo-cristiana, o una divinización del Universo (como postulan en diversas variantes Wheeler y Hoyle, o tal vez en la línea hinduista) han creado el cosmos específicamente con las condiciones actuales, simplemente para que existamos nosotros.

No cabe duda de que mucha gente vive perfectamente contenta con una explicación del tipo de la que se acaba de describir; pero al autor tales especulaciones le parecen de un antropocentrismo excesivo. Por concentrarnos sólo en la explicación de la creación del Universo por un Dios omnipotente, parece de una soberbia infinita el imaginarse que miles de millones de años luz llenos de millones de billones de estrellas y otros objetos celestes, hayan sido creados con el único fin de darnos cobijo en un minúsculo rincón.¹⁸ Pero lo malo es que, como tantas otras veces ocurre, los argumentos teológicos, si se aplican a cuestiones científicas, acaban por apuntar en la dirección opuesta a aquella en que parecen señalar a primera vista; y el creacionismo, si se analiza con una mínima profundidad, no nos hace convencernos de la existencia de un Dios creador del universo en su estado actual.

En efecto: los creacionistas niegan la teoría de la evolución de las especies y mantienen que el universo fue creado por Dios hace unos pocos miles de años, en acuerdo con una interpretación literal de los textos bíblicos: según las detalladas averiguaciones, utilizando fuentes bíblicas, del obispo anglicano J. Ussher en su “*Chronologia Sacra*” (publicada en Oxford en 1660) el universo fue creado en el año 4004 antes de Cristo, precisamente a las nueve de la mañana del 23 de octubre. Pero una tal deidad no sería muy de fiar. Sería de una auténtica mala fe el crear el universo como si este hubiese evolucionado: con fósiles, y con éstos repartidos por los estratos geológicos tal y como se hubiesen colocado si la tierra, y el universo, tuviesen los miles de millones de años que pretenden los geólogos, los biólogos evolucionistas y los astrónomos, que han detectado luz proveniente de mas de diez mil millones de años en el pasado.

Lo cierto es que hace ya tiempo que la Iglesia Católica hizo las paces con Darwin, admitiendo la realidad del esquema evolucionista de la naturaleza y, en particular, la de las especies (incluida la humana). Únicamente los fanáticos del la *Bible Belt* americana, que compaginan una adhesión literal a la Biblia en materias astronómicas y biológicas, con una defensa de la pena de muerte, ignorando la meridiana advertencia bíblica del Quinto Mandamiento “No matarás”; y personas como Lech y Jaroslaw Kaczynski, más papistas que el Papa, siguen empecinados en negar la evidencia.

¹⁸ Esta objeción fue ya citada por el gran físico Robert Boyle en 1688. De hecho, el universo es muchísimo más grande y complejo de lo que podía no ya saberse, sino sospecharse en el tiempo de Boyle.



El cúmulo galáctico de la ilustración es uno de los muchos que pueblan el universo. Las pequeñas manchas lenticulares en la foto son galaxias, cada una de ellas tan grande como nuestra Vía Láctea: el universo ciertamente es desproporcionado con el ser humano.

Porque la evidencia de la operatividad del mecanismo de la evolución de Darwin es, realmente, apabullante. No sólo en que las distintas especies han evolucionado unas de otras, sino en el origen antropoide del ser humano. La idea de la evolución de las especies, basada en cambios al azar en éstas, con una subsiguiente selección debida a la competencia entre individuos parecidos, fue formulada hace más de 150 años de forma prácticamente simultánea por Darwin y Wallace;¹⁹ y ha satisfecho más que de sobra todos los criterios de validación para dejar de ser algo especulativo y convertirse en un hecho más de los constatados por la ciencia. Hecho acerca de cuya validez puede haber pocas más dudas que acerca de la validez del sistema copernicano. Particularmente importantes para esta validación son las *predicciones* realizadas por la teoría de Darwin, imposibles de verificar en su época, que han sido brillantemente confirmadas en épocas posteriores; a algunas de ellas nos referiremos más adelante.

¹⁹ La formulación de Alfred Russell Wallace, aunque de hecho ligeramente anterior a la de Darwin, es sin embargo mucho menos completa. Ambas teorías fueron presentadas a la vez en una reunión de la Sociedad Linneana, en Londres, en 1858.

A continuación haré una breve recapitulación de la teoría Darwiniana, para citar después algunas de las más importantes dificultades con que se encontró la misma, que fueron ya mencionadas por el propio Darwin; para, finalmente, señalar alguna verificación suplementaria, más anecdótica pero –tal vez por ello mismo– más impactante.

No fue Darwin el primero en formular la posibilidad de que las especies se originasen unas de otras. Ya algún filósofo griego lo había intuido; sin duda, la idea de la evolución se le había ocurrido a muchos científicos, o filósofos, antes que a Darwin. Por hablar sólo de personajes famosos, y aparte de Lamarck, al que nos referiremos después, Montesquieu, Maupertuis, Diderot y Buffon habían sido evolucionistas ya en el siglo XVIII; como lo había sido el propio abuelo de Charles Darwin, Erasmus Darwin, un lamarckista antes de Lamarck.

En efecto, y por ceñirnos a los primeros, Montesquieu ya indicó en 1721 la posibilidad de que todas las especies hubiesen evolucionado de unas pocas, y lo mismo (incluida la variación al azar) fue propuesto por el físico-matemático Maupertuis, en 1751. La comunidad del origen de muchas especies también había sido imaginada por Diderot en 1753. Finalmente, en su monumental obra sobre historia natural, Buffon sólo se retuvo de considerar la posibilidad de la evolución de las especies debido a la furibunda oposición de los teólogos de la Sorbona. Y es que, como el propio Buffon hizo notar,

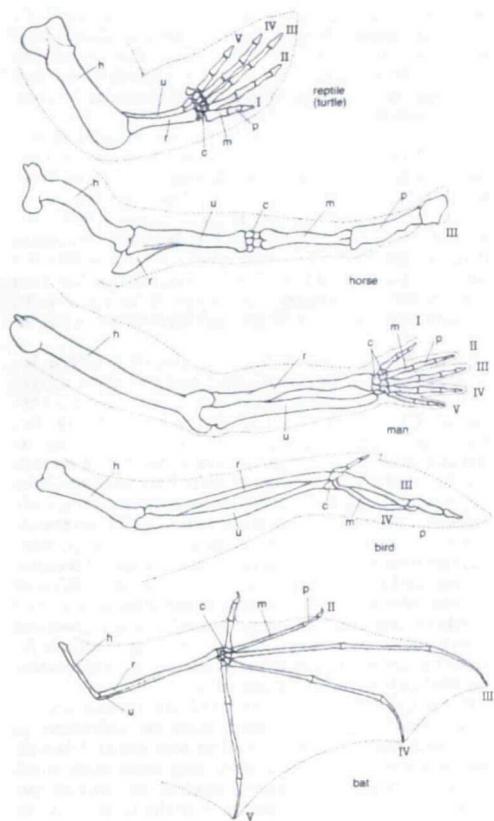
“si admitimos que el asno pertenece a la familia del caballo, y sólo se diferencian en que el asno ha degenerado, se podría también pretender que el mono pertenece a la familia del hombre, que el mono es un ser humano degenerado y que tanto monos como seres humanos tienen un origen común”.

Como vemos, Buffon formuló la hipótesis correcta, que sólo rechazó por motivos teológicos: “No; ciertamente la Revelación nos dice que ... cada animal salió de las manos del Creador tal como es hoy”.

De hecho, casi cualquiera que haya visto, al natural o en reproducción, los esqueletos de las extremidades en apariencia tan distintas como las de reptiles, aves, caballos y seres humanos, ha tenido que remarcar que pueden obtenerse unos de otros por sencillas deformaciones,²⁰ algo que menciona el propio Darwin como una de las indicaciones de origen común de muchas especies (*“The Origin”*, página 451) y que le hace suponer (con Maupertuis) que tal vez todos los seres vivos descienden de un único organismo primordial, algo que la moderna genética hace muy plausible.

Pero, por supuesto, estas sencillas observaciones no bastan; es necesario encontrar un mecanismo que haga posible la evolución, y es necesario comprobar que dicho mecanismo produce el amplio espectro de especies, tanto vivas como fósiles, que la Naturaleza exhibe. El mecanismo de selección natural al azar, basado en la mejor capacidad para dejar progenie de las especies mejor adaptadas al medio (es decir, en la competencia entre individuos de

²⁰ Sin pretender ningún mérito especial, a mí mismo se me ocurrió cuando tuve una de las primeras clase de lo que entonces se llamaba “Ciencias Naturales”, con unos catorce o quince años. Se lo dije a mi compañero de pupitre quien, a su vez, se lo contó a su padre, que era médico. A los pocos días, me vino con que lo que yo le había sugerido no se podía decir, porque era una doctrina “prohibida por la Iglesia”. Con lo que demostró varias cosas: primero, que no estaba muy al día; en esa época, la Iglesia Católica ya había aceptado la posibilidad de las ideas evolucionistas. Y segundo, escasa aptitud para el pensamiento científico. Por supuesto, no me convenció.



Identificación de la estructura ósea de varios animales (tortuga, caballo, hombre, pájaro y murciélago).

especies parecidas), con la hipótesis de lento y graduales cambios, también al azar, en la descendencia de los distintos organismos, es lo que representa un paso fundamental que distingue a Darwin del resto de evolucionistas.²¹

Y también es cierto que la teoría estaba “en el aire”. No sólo, como ya se ha dicho, fue formulada casi simultáneamente por Wallace, sino que Darwin desarrolló su teoría muy influido por las ideas de Malthus (algo que el propio Darwin reconoció explícitamente, por ejemplo en la página 117 del *Origen*), que hizo ver cómo la población humana y, por

²¹ La primera teoría completa del evolucionismo se debe a Jean-Baptiste de Monet, *chevalier de Lamarck*, quien la publicó en dos libros (“*Recherches sur l'Organisation des Corps vivants*”, en 1802, y “*Philosophie Zoologique*”, en 1809). Lamarck imaginaba que los órganos de los animales se desarrollan al ejercitarse, y se atrofian por el desuso; suponiendo, además, que estas características se heredan. Por poner un ejemplo famoso, según la teoría de Lamarck, los antecesores de la jirafa habrían sido animales que estiraron sus cuellos al intentar comer las hojas, más y más altas, de los árboles de la sabana africana. Mientras que, según la visión de Darwin, el crecimiento del cuello se dio en un antecesor de la jirafa por casualidad; de manera que, los animales que heredaron esta característica tuvieron una ventaja sobre sus congéneres que no lo habían hecho, por poderse alimentar mejor y, por tanto, dejar más progenie.

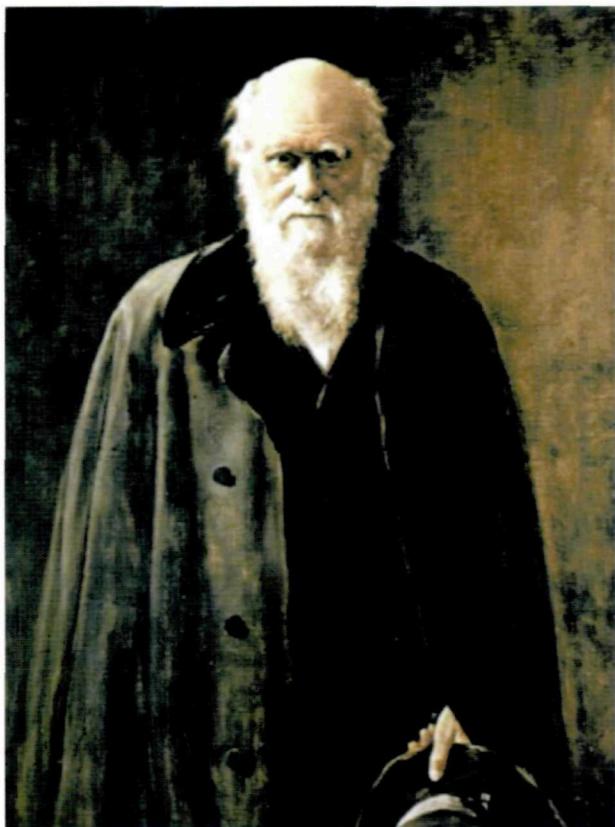
supuesto, la de otras especies, tiende a crecer en progresión geométrica: lo que implica una fuerte competencia por recursos limitados. Por otra parte, Darwin nunca hubiese podido dar una formulación creíble de la teoría de la evolución si, unos pocos años antes, Charles Lyell²² no hubiese sentado las bases de la geología científica: en particular, demostrando que la evidencia geológica implicaba que la edad de la tierra tenía que ser de miles de millones de años (como hoy sabemos, de unos cinco mil millones de años).

Las largas eras de Lyell, quien fue amigo personal de Darwin, eran absolutamente necesarias para explicar la variabilidad de las especies dado que, durante los períodos de observación directa, digamos unos cientos, o incluso miles de años, las especies conocidas no muestran variaciones importantes: ya Couvier había indicado que los animales representados y embalsamados en las tumbas del antiguo Egipto no se diferenciaban de los actuales, con lo que las especies mostraban permanencia durante miles de años. Era necesario que la vida hubiese perdurado los intervalos de tiempo que Lyell había encontrado en sus estudios geológicos, para poder explicar cómo cambios muy lentos podían producir la apabullante variedad de organismos que conocemos. Sobre todo si, como pretende la teoría de Darwin, los cambios se producen *al azar*. En una teoría Lamarckiana, en la que “la función crea al órgano” la evolución resulta ser *dirigida*: por tanto, mucho más rápida que en la teoría de Darwin, en la que hay que esperar que el azar produzca una variación favorable, para que los individuos que presenten esta variación tengan más probabilidad de propagar su especie que aquellos que no la tengan.

Cuando se publicó, la teoría de Darwin presentaba, junto con indudables éxitos, tremendas dificultades que sólo con el paso del tiempo han ido aclarándose. En primer lugar, había la cuestión de la herencia, el mecanismo de la cual era completamente desconocido en tiempos de Darwin. Únicamente a finales del siglo XIX, cuando el biólogo holandes Hugo de Vries redescubrió los trabajos del monje agustino Gregor Mendel, que demostraban la herencia, *al azar*, de caracteres paternos y maternos, pudo comenzar a comprenderse que las leyes genéticas eran precisamente las necesarias para explicar el mecanismo darwiniano. Lo que quedó aún más claro con el hallazgo de las mutaciones (que explicaban la posibilidad de cambios bruscos en los caracteres hereditarios) y, sobre todo, con el descubrimiento de la base bioquímica de la herencia, el genoma, y la identificación de cambios en las características de las especies como debidos a errores producidos *al azar*, en la copia de sus genes, que realizan los organismos cada vez que se reproducen. Tanto el mecanismo de Mendel como –sobre todo– la base molecular de la herencia, descubierta y explorada en la segunda mitad del siglo XX, encajan perfectamente con el mecanismo darwiniano, pero son incompatibles con su más importante competidor, el mecanismo ideado por Lamarck de herencia de caracteres adquiridos; mecanismo que es imposible dado el fundamento de la herencia a nivel molecular.

Otras dificultades con las que se encontró Darwin fueron los caracteres “decorativos” y los contradictorios. En efecto, antes de Darwin los biólogos creacionistas mantenían que algunos caracteres de las especies habían sido creados por Dios para disfrute del ser humano: citando, por ejemplo, la belleza del pavo real. Mientras que otros caracteres lo habían sido

²² Los textos fundamentales de Lyell son de 1830 y 1833, cuando publicó los tres volúmenes de sus *“Principles of Geology”*.



Charles Darwin.

para mitigar las propiedades negativas de ciertas especies; un ejemplo de esto último era la serpiente de cascabel, a la que el creador había dotado de un mortífero veneno, pero también del cascabel para prevenir a sus posibles víctimas. El problema que (de ser ciertas) tales características representarían para la teoría de la evolución le hicieron decir a Darwin que “*This doctrine, if true, would be absolutely fatal to my theory*” (“*The Origin*”, página 227).

Pero Darwin resolvió brillantemente ambas objeciones, en los casos citados y en muchos otros. El pavo real no se engalana para deleite del ser humano, sino para embelesar a la pava; los más exitosos en este empeño tienen más posibilidades de dejar progenie. Las flores no exhiben vistosos colores para decorar los centros de mesa, sino para atraer más eficazmente a los insectos que les sirven para extender el área de su polinización. Y el cascabel de la serpiente no se ha desarrollado para prevenir a sus presas, sino para ahuyentar a los animales grandes que pudieran atacarla o, simplemente, aplastarla inadvertidamente. Algo que ocurre también con los colores de la serpiente de coral, o de tantos batracios venenosos: su exhibición es una manera de advertir a sus predadores de que les resulta preferible evitarles. Por otra parte, la objeción de los creacionistas con respecto a la serpiente de cascabel, de nuevo se vuelve contra ellos: ¿no hubiese sido mejor que Dios se dejase de cascabeles, y hubiera, simplemente, evitado crear a la serpiente?

Finalmente, una objeción que también tardó mucho en resolverse es la ausencia de fósiles anteriores a la llamada “explosión del cámbrico,” que tuvo lugar hace unos seiscientos millones de años. En efecto, cuando Darwin escribió sus textos no se conocían fósiles anteriores a dicha época, en la que aparecen ya prototipos de casi todos los órdenes de animales. Esto parece contradecir la hipótesis de una evolución gradual: Darwin no pudo mas que escudarse en la incompletitud del registro fósil, y predecir (en base a su teoría, pero sin evidencia empírica) la existencia de vida anterior al período cámbrico. Predicción brillantemente confirmada: desde la primera mitad del siglo xx se han encontrado infinidad de fósiles pre-cámbrios.

De hecho, hoy sabemos que existe vida casi desde el principio de la aparición de una corteza sólida en la tierra; aunque, por supuesto, esto no implica que hayamos resuelto todos los problemas. Tenemos, en efecto, importantes lagunas en nuestra comprensión de la historia de la evolución, aunque ello no afecte de forma importante a los mecanismos darwinianos. Y así, por seguir con el ejemplo anterior, resulta que seguimos sin saber qué causó la explosión cámbrica, ni por qué una evolución que parecía detenida durante mas de mil millones de años, de repente se aceleró de tal manera: en únicamente unos cien millones de años, se produjeron los antecesores de todas las especies que conocemos (de hecho, de muchas más especies, luego extintas).

Pero, además de la brillante resolución de las mencionadas objeciones, algo que –si bien menos importante– es tal vez más impactante es la explicación de muchas cuestiones en apariencia triviales. Por ejemplo, como dijo el propio Darwin, con gran desazón de sus contemporáneos,

“En la humanidad, algunas expresiones tales como el erizamiento del cabello bajo la influencia de un terror extremado, o el descubrir los dientes bajo la de una ira furiosa, difícilmente pueden ser entendidas excepto bajo la convicción de que el ser humano existió antaño en una condición muy inferior y animalizada.”

En efecto, el erizamiento del cabello es comprensible como defensa (hacer aparecer al animal al que se le eriza como *más grande de lo que es*, para intentar ahuyentar a un depredador) y tiene sentido en un ser, tal un antropoide, cubierto de pelo; pero es palmariamente inútil para un animal con la escasa pilosidad del *homo sapiens*. Como es inútil para nosotros el descubrir en accesos de furia los dientes, para exhibir inexistentes caninos de combate.

5. La Teoría Matemática de Juegos, de von Neumann y Morgenstern

El texto “*Theory of Games and Economic Behaviour*”, de John von Neumann y Oskar Morgenstern es, desde mucho puntos de vista, un libro atípico. Con más de seiscientas páginas, semejante volumen fue publicado por la Princeton University Press en el año 1944: con las armas de la II Guerra Mundial aún muy activas. Armas para una de las cuales John von Neumann estaba siendo un artífice fundamental. En efecto, el gran matemático había participado activamente en el Proyecto Manhattan, que desarrolló la bomba atómica americana, contribuyendo a él de forma crucial; el esquema de implosión con el que se logró hacer explotar dos de las tres primeras bombas que se fabricaron, que utilizaban plutonio, fue en

buen medida ideado por von Neumann. ¿De dónde sacó éste el tiempo y energías para escribir (o co-escribir) un mamotreto como la *Teoría de juegos*?

Pero no acaba aquí lo atípico del texto que comentamos. Es cierto que von Neumann ya había escrito un importante artículo sobre teoría económica;²³ pero no se conoce ninguna otra contribución relevante suya al tema en el que, por tanto, produjo un libro clásico casi *ex nihilo* (la situación era distinta para Morgenstern, que era ya en 1944 un economista profesional). Y no sólo esto; la teoría matemática de juegos, “juegos” entre los que se pueden incluir las actuaciones económicas o las tácticas de guerra, era prácticamente inexistente antes de la publicación del libro de von Neumann y Morgenstern.²⁴ Debido a ello, muchas de las páginas del comienzo de dicho libro tienen que utilizarse en explicar al lector de qué es de lo que va a tratar el texto. Por el mismo motivo nosotros vamos a gastar también unos pocos párrafos en describir brevemente el contenido de la *Teoría de Juegos*.

En este texto, von Neumann y Morgenstern señalan la semejanza entre las estrategias de los juegos (entre los que tratan en detalle alguno de los más populares, como el póker) con situaciones en el mundo de la economía, la política o la guerra. De ahí, desarrollan los autores un esquema matemático que permite maximizar las posibilidades de ganancia en juegos que involucran a dos personas, problema que resuelven completamente. Por supuesto, von Neumann y Morgenstern son conscientes que la economía en el mundo real involucra a mucho más que dos jugadores. Pero indican que, igual que el problema físico de N -cuerpos en mecánica requiere para su estudio (necesariamente numérico) la comprensión del problema con dos cuerpos, lo análogo es probablemente válido en sociología, economía o política.

A continuación, von Neumann y Morgenstern desarrollan en su libro el formalismo matemático general, para pasar a estudiar algunos casos concretos y, en particular, resolver el problema con un jugador (conocido como “el modelo de Robinson”) y, como se ha dicho, el de dos jugadores. Después pasan a considerar problemas con más de dos jugadores, que no son capaces de resolver en general, aunque lo reducen al de dos jugadores si se puede aproximar la situación real por una situación con ciertos tipos de interacción.

El texto de von Neumann y Morgenstern se convirtió en un clásico inmediatamente; por ejemplo, ya en 1945 H. A. Simon, que luego fue premio Nobel en economía, escribía en el *American Journal of Sociology*, que

“every social scientist who is convinced of the necessity for mathematizing social theory –as well as those unconverted souls who are still open to persuasion on this point– [should] undertake the task of mastering the Theory of Games”.

En el mismo año, A. H. Copeland afirmaba que la posteridad probablemente considerase a este libro como uno de los más grandes logros de la primera mitad del siglo xx;

²³ El artículo, que apareció en 1928, concernía el conocido “teorema del minimax.”

²⁴ Esto no es totalmente cierto; de hecho, el gran matemático francés Félix Borel había publicado una serie de artículos fundamentales sobre teoría de juegos entre 1921 y 1927, siendo el primero en definir los juegos de estrategia; aunque sus trabajos fueron prácticamente olvidados durante bastante tiempo.



John von Neumann.

mientras que L. Hurwicz, al año siguiente, indicaba que las técnicas aplicadas por von Neumann y Morgenstern para tratar problemas económicos son suficientemente generales como para resultar válidos en ciencias políticas, en sociología e incluso en estrategia militar. Y, en efecto, así lo han sido; los países científicamente avanzados²⁵ utilizan sistemáticamente métodos basados en las técnicas desarrolladas en el libro de von Neumann y Morgenstern.

A pesar de ello, el éxito en el mundo académico (y no digamos a nivel práctico) de los métodos de von Neumann y Morgenstern llevó su tiempo. Por ejemplo en Francia, a pesar del papel pionero jugado por Borel, hubo que esperar hasta 1968 para que se publicase el primer libro sobre el tema (los *"Eléments de la théorie des jeux"*, de G. Th. Guillaud). La razón de esa tardanza, por supuesto, es que los economistas de la época no tenían suficientes conocimientos matemáticos para asimilar las ideas de Borel o de von Neumann y Morgenstern. Sin embargo, en los años 1950 ya existía en la Universidad de Princeton un importante grupo de economistas y sociólogos matemáticos, que continuó desarrollando la teoría de juegos; a veces en direcciones muy distintas de las indicadas por von Neumann y Morgenstern. Cuando, en 1994, John Nash recibió el premio Nobel en economía, la teoría matemática de juegos había ya tomado un papel central en los estudios de economía en todas las universidades importantes de los Estados Unidos, o de Inglaterra.

²⁵ Entre los que, por desgracia, no se cuenta el nuestro. El método poco riguroso con que se establecieron los estudios de economía y sociología en España –consistente esencialmente en reconvertir licenciados en Derecho, con escasos conocimientos ni aptitudes para las matemáticas– han resultado en un escaso rigor científico en los estudios de estas disciplinas en nuestras universidades.



Oskar Morgenstern.

¿Quiere esto decir que el problema de matematizar la sociología está ya resuelto y que podemos –utilizando las ideas que se siguen del trabajo de von Neumann y Morgenstern– dar un tratamiento matemático a procesos que dependen de la psicología? Tal vez sí, y tal vez no; la situación no está totalmente clara. Como hace ver Ariel Rubinstein en el *postscriptum* a la edición del sesenta aniversario del texto de von Neumann y Morgenstern, hay economistas y sociólogos que creen en la capacidad de la teoría de juegos para manejar el funcionamiento de las interacciones humanas en la vida real; aunque hay otros, incluido el propio Rubinstein, que creen que la utilidad de la teoría de juegos para la vida real es muy escasa, limitándose a influencia más bien indirecta.

Pero incluso Rubinstein admite que el texto de von Neumann y Morgenstern fue de importancia capital para convertir la economía y la sociología a la disciplina matemática: es decir, según uno de los criterios de Galileo, en comenzar a hacerlas científicas. La matematización de estas disciplinas tiene, como mínimo, la no despreciable ventaja de introducir orden, precisión y un sentido de objetividad en lo que, hasta entonces, era poco más que literatura descriptiva o periodismo ilustrado.

6. La Interpretación de los Sueños, de Freud

La cosmología copernicana desterró al hombre a un oscuro rincón del universo; la teoría darwiniana de la evolución nos redujo a uno más entre los animales que pueblan la tierra. Mientras que los trabajos de Heisenberg nos hacen dudar de la realidad del mundo microscópico. Pero aún llegaría más: Sigmund Freud proporcionó un nuevo golpe al orgullo

del ser humano mostrando que la mente consciente no es sino una pequeña isla en un inmenso océano inconsciente y que, no sólo no tenemos un auténtico control sobre nuestros actos, sino que ni siquiera conocemos la mayor parte de nuestras motivaciones.

Entre los textos que Freud produjo a lo largo de su prolífica vida, destaca fundamentalmente su *Interpretación de los sueños*.²⁶ Aunque la teoría del inconsciente (y las técnicas del psicoanálisis) se explican con mayor detalle en la *Introducción al psicoanálisis*, muy posterior, los fundamentos del sistema freudiano se encuentran en el primer texto citado, que Freud publicó en el último año del siglo XIX.²⁷

No han resistido bien el paso del tiempo las teorías freudianas. Después de unos años (básicamente, hasta los 1950) en que reinaron sobre la psicología mundial, la unilateralidad del enfoque freudiano ha quedado más y más aparente. Como también han quedado aparentes las limitaciones del método psicoanalítico, y las excesivas generalizaciones y algunas fantasías de Freud (lo segundo en textos tales como *Totem y tabú*). La unilateralidad del enfoque freudiano fue minada en buena parte por las contribuciones de los propios discípulos de Freud. Adler y, sobre todo, Jung, mostraron la existencia de unas ricas estructuras en la mente humana que no son reducibles a los esquemas del maestro; las limitaciones del método psicoanalítico han sido aparentes, entre otros efectos, en su fracaso en tratamientos de neurosis a las que proporcionaban alivio temporal, pero que volvían al cabo de poco tiempo de manera sistemática. En los años 1920 a 1960 el entusiasmo por las ideas de Freud llegó hasta el arte (los surrealistas y dadaistas pretendían inspirarse en ideas freudianas) o el cinematógrafo: paradigma de lo último, la famosa película “Recuerda”, de Alfred Hitchcock, interpretada por Ingrid Bergman y Gregory Peck, y con decorados de Dalí (no es ésta la única película freudiana de Hitchcock; Tippy Hedren y Sean Connery protagonizaron otra, “Marnie la ladrona”). Después de este entusiasmo, el interés por las ideas del padre del psicoanálisis ha decrecido; en la actualidad, Freud está (relativamente) poco valorado.

Y es que, junto a importantes aciertos, el esquema de Freud presenta notorios defectos. Entre ellos, destaca un excesivo purismo de generalidad. No cabe duda de que el *complejo de Edipo*²⁸ juega un papel muy relevante en ciertas personalidades; pero no en otras. Esto también ocurre con la importancia de las cuestiones sexuales, que no siempre tienen el papel central que les asignó Freud. La separación de la personalidad humana en ego (más o menos, la parte consciente), *id* (un almacén de impulsos instintivos) y *superego* (que actúa de represor), que Freud propuso en su libro *El ego y el id*, en 1923, se nos aparece hoy como algo artificial y metafísico más que científico, ya que no hay manera clara de comprobar la realidad de tal estructura.

²⁶ Sigo aquí la edición inglesa “The Interpretation of Dreams”, de 1965.

²⁷ Aunque existen precedentes tanto a la interpretación de los sueños –el propio Freud cita “Das Leben des Traumes”, publicado en Berlín en 1861 por K. A. Scherner como el más importante– y a la idea del subconsciente, como el libro de E. von Hartmann “Philosophie des Unbewussten”, de 1869, lo cierto es que no alcanzan ni de lejos la completitud y el rigor de los tratados de Freud.

²⁸ Introducido en la página 297 de la *Interpretación de los sueños*.



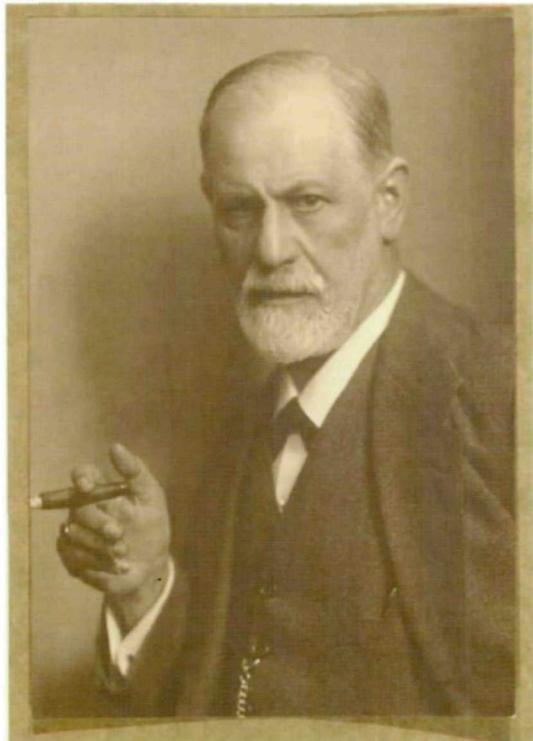
En la película “Recuerda” la doctora Bergman (en la ilustración, en un retrato de Andy Warhol) psicoanaliza y cura al pseudo-doctor Peck.

Una de las más importantes contribuciones de Freud, y una de las que han perdurado, es su explicación de los *actos fallidos*, que sabotean nuestras actividades conscientes.²⁹ Estos actos fallidos son debidos a un deseo *subconsciente* de que se realice dicho sabotaje; dado que, *inconscientemente*, la acción que el acto fallido sabotea no es de nuestro agrado. Aunque caben pocas dudas de que una buena parte de los actos fallidos pueden ser explicados por el mecanismo que descubrió Freud, también es cierto que el valor curativo de desvelar estos mecanismos a través del psicoanálisis es mucho menor de lo que Freud esperaba.

Pero el núcleo central de la obra de Freud es, como él mismo era consciente, su explicación de los sueños: y aquí también tenemos, junto a indudables aciertos, no menos indudables excesos en las generalizaciones que Freud propone. Freud mantiene que los sueños representan una manera de satisfacer, consciente o inconscientemente, un deseo del durmiente, y que el contenido de todos los sueños es significativo:

“Lo que soñamos es manifiestamente reconocible como psíquicamente significativo; o está distorsionado y no se puede juzgar hasta que el sueño ha sido interpretado; después de lo cual, se encontrará que el sueño era significativo.”

²⁹ Un estudio detallado de esto puede encontrarse en el texto *Introducción al psicoanálisis*.

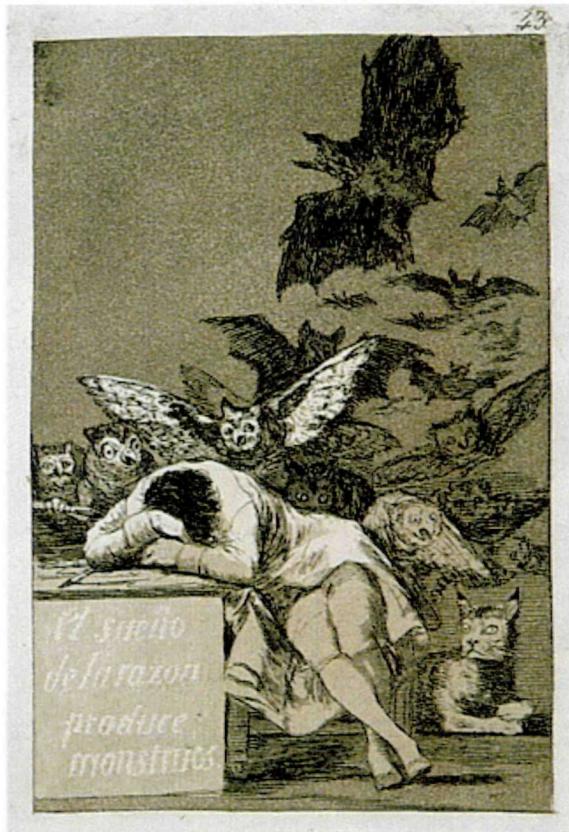


Sigmund Freud.

(*La interpretación de los sueños*, página 215). A este respecto, Havelock Ellis, un comentarista muy favorable a Freud, manifiesta que “*This is the point at which many of us are no longer able to follow Freud*”. Cosa que no es de extrañar; a la objeción de que todos recordamos sueños que no pueden interpretarse como satisfaciendo deseos, Freud responde que es de esperar que algunos de los lectores de sus libros tengan sueños que aparentemente no representan satisfacción de deseos; pero que, en realidad, sí representan la satisfacción del deseo de mostrar que Freud se equivoca. No es muy científica esta actitud de Freud, que, de hecho, resulta matizada más adelante cuando, en la página 467 de *La interpretación de los sueños*, declara que

“Sin embargo, estoy dispuesto a confesar que tengo la sensación de que la interpretación de los sueños está lejos de haber revelado todos los secretos de sueños de este tipo.”

A pesar del (relativo) escepticismo actual acerca de la relevancia de la obra de Freud, creo que pocos se atreverán a negar que el descubrimiento del inconsciente, y de su papel central en la psique humana; de la importancia de los sueños en la vida psicológica; y la brillante interpretación freudiana de los “actos fallidos”, forman, al menos, uno de los pilares sobre los que es necesario apoyarse para construir cualquier psicología seria que quiera tener visos de científica. El mayor problema de Freud es el haber intentado abarcar demasiado y, en particular, el pretender que su esquema era una solución poco menos que final al



"El sueño de la razón produce monstruos" (Francisco de Goya).

problema del estudio de la psique humana. La mente humana es mucho más compleja de lo que Freud pudo suponer; y un tributo tanto a la grandeza de Freud como a la limitación de su programa es que, después de él, apenas se ha producido ningún descubrimiento capital en psiquiatría.

Bibliografía

- C. Darwin, *The Origin of Species*, Penguin, 1985. La primera edición es de 1859.
- C. Darwin, *El origen del hombre*, Bruguera, 1980. La primera edición es de 1871.
- R. P. Feynman, *Lectures on Gravitation*, CalTech, 1963.
- S. Freud, *The Interpretation of Dreams*, edición inglesa, Avon Books, 1965. La primera edición alemana, *Die Traumdeutung*, es de 1900, y la última revisada por Freud es de 1930.
- S. Freud, *Introduction à la psichanalyse*, Payot; la primera edición alemana es de 1916.
- Galileo Galilei, *Il Saggiatore*, Feltrinelli, 1965. La primera edición es de 1623.
- Galileo Galilei, *Dialogo dei Massimi Sistemi*, Mondadori, 1996. La primera edición es de 1632.
- W. Heisenberg, *The Physical Principles of the Quantum Theory*, Chicago University Press, 1930.
- R. Jost, *Some Strangeness in the Proportion*, Addison-Wesley, 1980.
- T. E. Lawrence, *Seven Pillars of Wisdom*, Penguin, 1982. (Primera edición de 1967).
- L. Wittgenstein, *Tractatus Logico-Philosophicus* (con Introducción de B. Russell) Routledge Classics, 2001.
- D. Sobel, *Galileo's Daughter*, Fourth Est., 1999.
- Stendhal, *Vie d'Henri Brulard*, Ed. 10-18, 1965.
- J. von Neumann and O. Morgenstern, *Theory of Games and Economic Behaviour*, Princeton, 2004.
- F. J. Ynduráin, *Los desafíos de la ciencia*, Drakontos, 2003.

Francisco J. Ynduráin

13 Jul 2007 1:07 p.m.