

# Sobre intuición en física:

*una conversación que nunca se dio*

Román Eduardo Castañeda Sepúlveda

(Colombia, 1956-v.)

Físico y Magíster en Física de la Universidad de Antioquia. Doctor en Física de la Universidad Técnica de Berlín (Alemania). Profesor Titular de la Universidad Nacional de Colombia. Miembro de Número de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Acreedor de varios reconocimientos, menciones y distinciones. Autor de libro, semblanzas y numerosos artículos.



### Resumen y comentario de orientación

**C**onocí a Jorge Alberto Naranjo a fines de 1982, cuando me vinculé al Departamento (hoy Escuela) de Física de la Sede Medellín, de la Universidad Nacional de Colombia, donde él era profesor. Desde entonces me atrajo su convicción de que el saber, solo cuando es integral, puede convertirse en conocimiento. Una convicción, para algunos, salida de época, periódicamente retomada y agotada en la Grecia clásica, en el Renacimiento, en el Siglo de las Luces y ahora simplemente derrotada por la complejidad desatada en el siglo xx; para otros, como él, justamente por eso, es vigente ahora y más que nunca necesaria. Es mi percepción personal de su actitud de poner en el crisol intelectual a las ciencias naturales al lado de las humanas y de la estética, buscando, cual alquimista, su síntesis en sabiduría.

Cuando regresé de mi doctorado en Alemania, Jorge Alberto se había trasladado a la Facultad de Minas y no tuvimos oportunidad de cercanía. Lo escuché hablar, en sus charlas y en sus textos, de sus aventuras por mares profundos, muchas veces borrascosos, de cuyos horizontes fluidos también he sentido el canto de sirena, y llegué a imaginarme haciendo parte de su tripulación. Pero no tuve la fortuna de acompañarlo en sus expediciones: definitivamente soy ser de tierra firme y fueron pocas las palabras que cruzamos en los puertos donde coincidimos. Sin embargo, confieso que he mantenido entre mis recuerdos personales la ficción de algunas conversaciones que quise con él, estimuladas por las crónicas de sus viajes intelectuales.

Referiré el tema de una de ellas, como mi pequeña contribución a mantener vivo su recuerdo. Tengo la sensación de que, al igual que para mí, el tema de esa conversación ficticia fue una de las preguntas de esfinge a cuya atención dedicó parte importante de su tiempo, no solo porque fuera un aspecto fundamental del cultivo de nuestras actitudes personales como académicos y científicos, sino también porque es un elemento fundacional de la formación que impartimos a nuestros estudiantes. No expondré el tema como fruto de una investigación, porque no lo he abordado así, ni como una revisión de erudito, que no lo soy. Lo haré al modo de lo que quise: una conversación en la que intercambiaríamos reflexiones sobre la experiencia acumulada en nuestras varias décadas de profesores universitarios. Reconozco, con honestidad y humildad, que lo que expresaré son las opiniones que alguna vez hubiera querido compartir con Jorge Alberto Naranjo, en una conversación que nunca se dio.

### Palabras clave

Atenea, belleza, ciencias naturales, conocimiento, intuición, mito, física.

*¿Qué es, pues, el tiempo? Si nadie me lo pregunta, lo sé; pero si quiero explicárselo al que me lo pregunta, no lo sé*

San Agustín de Hipona (354-430)

### ¿Es pertinente conversar sobre la intuición en ciencias naturales?

Apreciado Jorge Alberto:

Sabemos bien que en el siglo xx las ciencias naturales, en particular la física, sufrieron una transformación sin precedentes, incluso en comparación con etapas gloriosas de su desarrollo, como lo fueron la Escuela de Alejandría, la revolución científica del siglo xvii o

el llamado Siglo de las Luces. Nunca antes el conocimiento científico tuvo poder efectivo para fundamentar un paradigma de bienestar social global como el que llamamos “la sociedad del conocimiento”. Incluso, el más moderno paradigma, “la sociedad del riesgo”, que los escenarios de crisis han puesto de presente en lo que va corrido del siglo xxi, se apoya (necesaria, y a veces desesperadamente) en el conocimiento científico, muy a pesar de las afirmaciones del actual presidente de Brasil, Jair Bolsonaro, en la cumbre de la ONU de septiembre de 2019, y de las continuas desaprobaciones del presidente norteamericano Donald Trump, que tú mencionas. Más nos vale, particularmente para el bienestar de las generaciones de nuestros hijos y nietos, que las posturas de ese tipo de dirigentes no se conviertan en tendencia globalizada dominante a lo largo del siglo.

Las sociedades se esfuerzan, en la medida de sus capacidades y de su visión del mundo, por producir conocimiento científico o por acceder a él. Valoramos significativamente el rol del *método* en el desarrollo de esos esfuerzos, hasta el punto de considerar el *método científico*, esa particular organización de pensamiento lógico-matemático y experimentación, como la fuente única del conocimiento científico. No obstante, la historia de la ciencia señala rutas alternas, donde otras potencias o facultades del espíritu humano alcanzan roles protagónicos. Al fin y al cabo, la ciencia, al igual que el arte, la política, el deporte, e incluso la guerra, es un producto del ser humano integral, como apuntas.

Reconozco que me atraen especialmente las rutas en las que la intuición es fundamental, no solo por la fascinación con la que impregnan la historia, sino también por los horizontes que ofrecen a futuro. Alguna vez te escuché decir que la intuición es una facultad humana muy compleja cuyas facetas van desde lo coloquial y cotidiano del palpito, la corazonada, el presentimiento, hasta lo puramente espiritual de las visiones beatíficas. No obstante, todas esas facetas tienen en común la capacidad de comprensión sin necesidad de razonamiento, la percepción de la evidencia o validez de la verdad.

En efecto, como lo explica el Diccionario Etimológico (DEEL, 2020),<sup>1</sup> la palabra *intuición* tiene raíz en el verbo *intueri*, del latín medieval, que significa mantener la vista fija, contemplar, ver con absoluta claridad. Este verbo, a su vez, está compuesto del prefijo *in*, que denota *dirección hacia el interior*, y la desinencia *tueri*, que justamente se refiere a la acción verbal de ver o contemplar, pero incluso velar y, en ese sentido, proteger. Ese significado de la desinencia se aplica en palabras como *tutor* y *tutela*. Así que su significado más básico, el de la palabra, se refiere a la facultad de transformar percepciones en experiencias interiores y, por tanto, a una característica puramente individual, pues el sujeto de intuición es el individuo.

Sin duda, este aspecto involucra con fuerza la estructura psicoemocional de las personas, lo que atrae la atención de diferentes escuelas de psicología. Las biografías de los científicos son a menudo prolijas en mostrar el sello que la estructura psicoemocional de cada uno pone en sus aportes al conocimiento. No obstante, quienes empleamos esos productos finales, ya establecidos y validados por las comunidades científicas, prescindimos de esas peculiaridades y ni siquiera nos percatamos de ellas. La historia de Dmitri Mendeléyev es un ejemplo elocuente. Con motivo de la conmemoración de los ciento cincuenta años de la Tabla Periódica de los Elementos, el profesor Daniel Barragán, de la Escuela de Química de nuestra Sede, me comentó que la profunda intuición de Mendeléyev, motivada en su deseo de hacer un ordenamiento del conocimiento acumulado de la química con fines principalmente pedagógicos, lo llevó a construir esa tabla, identificando ciertas regularidades de los atributos químicos de los materiales que ya en el siglo XIX estaban identificados como elementos químicos. Esas regularidades le señalaron sitios vacíos para elementos aún no descubiertos, que fueron reservados por él, y también lo llevaron a requerir la corrección de medidas de esos atributos que consideró erróneas

<sup>1</sup> Internet ofrece varios diccionarios etimológicos en línea. Yo consulté este y el Etimológico de la Real Academia Española de la Lengua DIRAE. También consulté la etimología de la palabra caligrafía (p. 9): este término está conformado por tres raíces griegas: *kallos* (hermoso), *graphein* (escribir) e *ia* (cualidad), logrando su significado de arte de la bella escritura.

por no coincidir con los valores de sus regularidades (“Dmitri Mendeléyev”, 2020):<sup>2</sup> “Falta un elemento en este sitio y, cuando sea encontrado, su peso atómico lo colocará antes del Titanio. El descubrir la laguna colocará los últimos elementos de la columna en los renglones correctos; el Titanio corresponde con el Carbono y el Silicio”, afirmó refiriéndose al elemento que posteriormente se bautizó como escandio, y también ubicó en la Tabla Periódica dos elementos desconocidos en su época, que llamó eka-aluminio y eka-silicio, y describió sus propiedades químicas. Estos elementos fueron descubiertos y bautizados como galio y germanio. Esa intuición descomunal de Mendeléyev no es evidente ni necesaria cuando usamos la Tabla Periódica en un análisis químico.

Estamos de acuerdo, Jorge Alberto: ejemplos similares abundan en múltiples campos de las ciencias naturales, en los que conocimientos cruciales fueron motivados por momentos psicoemocionales peculiares que potenciaron la intuición de sus investigadores. Sin embargo, ese aspecto psicoemocional de la intuición no marca el uso que las comunidades científicas hacen del conocimiento científico que aportan los investigadores, a pesar de ser un elemento definitivo en su producción. Tengo la impresión de que este aspecto de la intuición es solo de interés para psicólogos y biógrafos.

No obstante, hay un aspecto de la intuición que sí establece mojones y articulaciones importantes para la comprensión y el uso del conocimiento científico, que señala fuentes de impulso indispensables para sus avances; un aspecto que no gravita en lo psicoemocional sino en lo intelectual. Conversar sobre este modo de la intuición es lo que quisiera hacer contigo a continuación.

<sup>2</sup> Además de esta reseña biográfica, también consulté la entrada “Tabla Periódica de Mendeléyev”. Las referencias en estas entradas incluyen varias biografías amplias de este sabio, que por una intriga de celos profesionales no recibió el merecido Premio Nobel. Sin embargo, es muy inspirador conversar al respecto con el profesor Daniel Barragán, quien disertó sobre la intuición de Mendeléyev en su charla conmemorativa de los ciento cincuenta años de la Tabla Periódica, “La sociedad del orden químico”, ofrecida en la Cátedra UN Saberes con Sabor, el 13 de septiembre de 2019.

### *Pulchritudo splendor veritatis*

Me alegra que propongas a Atenea como símbolo del tema, Jorge Alberto. Esa diosa del panteón olímpico de los griegos, que también conocemos como Palas Atenea y Atenea Partenos (Atenea la virgen), fue la protectora de Atenas, ciudad que le consagró el templo más prominente de la Acrópolis: el Partenón. Y me alegra porque Atenea es la diosa de la sabiduría, la estrategia, la civilización, las artes y la guerra, la justicia y la habilidad. Como dices, su mito narra que nació de la frente de Zeus, adulta y completamente armada, “y llamó al ancho cielo con su claro grito de guerra. Y Urano tembló al oírlo, y la Madre Gea” cantó Píndaro en sus *Olimpicas* (“Atenea”, 2020).<sup>3</sup> Yo añadiría su inaccesibilidad al amor, el matrimonio, los consortes y los amantes, aún a pesar de haber participado en un célebre concurso de belleza que motivó la Guerra de Troya. ¿Crees que esa supuesta *frialidad* se hubiera debido a algún equilibrio entre lo masculino y lo femenino de su carácter? El caso es que en Atenea confluyen los elementos que conforman nuestro cliché de la ciencia y los científicos: la racionalidad propia de haber nacido de la frente de Zeus, la frialidad emocional y el sentido de justicia necesarios para conocer y acatar el rigor de las leyes que rigen el conocimiento, que tienen el peso de leyes divinas, la disposición a la lucha con estrategia, tan afín a lo que llamamos método científico, y su grito de guerra, quizás anunciando su voluntad de saber y de aprehender, de dilucidar misterios y develar secretos, haciendo temblar las potencias del cosmos representadas en los dioses del cielo y de la tierra.

A mi modo de ver, hay un aspecto particular de Atenea que no encaja bien en ese estereotipo: su hermoso cuerpo femenino que, aunque no se muestra seductor (siempre aparece vestida con ropajes que ocultan bien cualquier curva del cuerpo o de la pose) porque lo suyo es la convicción, no puede disimular la belleza que la puso al lado de Hera y de Afrodita, frente a la decisión que Paris reveló con aquella manzana de la discordia.

<sup>3</sup> En esta entrada de Wikipedia se reseña esta cita de Píndaro, *Olimpicas* (vii. 35 ss.), que me evoca la expresión de la voluntad de conocer.

Y te sigo en el paso que propones, Jorge Alberto: cada dios tiene su encarnación mortal, de quien los aedos cantan sus proezas. Homero anuncia, al inicio de *La iliada*, su canto a Aquiles, que encarna la ira de Ares: “La cólera canta, oh diosa, del Pelida Aquiles, Maldita, que causó a los aqueos incontables dolores” (Homero, 2006, p. 1).

El canto de Sócrates, el Escolástico, que tú sugieres referido a una de las encarnaciones mortales de Atenea, es mucho menos terrible (Martínez, 2009):<sup>4</sup>

Había una mujer en Alejandría llamada Hipatia, hija del filósofo Teón, que tuvo tales logros en literatura y ciencia como para sobrepasar a todos los filósofos de su propio tiempo. Siguiendo la escuela de Platón y de Plotino, ella explicaba los principios de la filosofía a sus oyentes, algunos de los cuales venían de lejos para oír sus lecciones (p. 69).

Puedo imaginar la belleza de Hipatia, de quien no tenemos retrato de época sino la referencia a su poderoso intelecto. Hipatia, virgen sin consorte ni descendencia, maestra de la *apatheia*, ese estado filosófico que supone la liberación total de emociones y afectos, no solo desató la admiración de los neoplatónicos, sino también la furia de los cristianos de su natal Alejandría que terminaron asesinandola, en una de las desastrosas representaciones de la supuesta confrontación entre ciencia y fe. Tu cita lo expresa de manera elocuente, Jorge Alberto: el drama *Hipatia y Cirilo*, de Leconte de Lisle (Martínez, 2009), en el que ella responde a la sentencia que le dicta el patriarca alejandrino: “Tus dioses han quedado reducidos a polvo, a los pies de Cristo victorioso”, diciendo:

<sup>4</sup> No es fácil conseguir literatura sobre Hipatia. Esta referencia es una biografía detallada. Se encuentran además algunas novelas históricas como la del astrofísico y divulgador científico Jean-Pierre Luminet, *El incendio de Alejandría* (Ediciones B, 2003), que presenta a Hipatia como protagonista de una interesante ficción; la de Pedro Gálvez, *Hipatia, la mujer que amó la ciencia* (Lumen, 2004), y la de José Calvo Poyato, *El sueño de Hipatia* (Plaza y Janes, 2009). Alejandro Amenábar estrenó, en 2009, su película *Ágora*, protagonizada por Rachel Weisz, que narra los últimos años de la vida de Hipatia.

¡No lo creas, Cirilo! Viven en mi corazón, no como los ves, vestidos de formas perecederas, sujetos hasta en el cielo a las pasiones humanas, adorados por el vulgo y dignos de desdén, sino como los han visto espíritus sublimes: en el espacio estrellado que carece de moradas; fuerzas del universo, virtudes interiores, unión armoniosa de la tierra y el cielo que encanta al pensamiento, el oído y los ojos, y que ofrece su ideal accesible a los sabios, y a la belleza del alma esplendor visible ¡Tales son mis dioses! (p. 352).

Sin que perdamos de vista esta dimensión de la belleza, quiero llamarte la atención sobre otra más abstracta y etérea: la que se manifiesta en una sentencia de la Nobel de Literatura de 1996, Wislawa Szymborska (Bolondi y D'Amore, 2011):<sup>5</sup>

No tengo ninguna dificultad para imaginar una antología de los más bellos fragmentos de la poesía mundial, en la que también hubiera un lugar para el teorema de Pitágoras. En él hay [...] una gracia que no a todos los poetas ha sido concedida (p. 63).

Apreciar el teorema de Pitágoras como un poema le pone un valor estético del mismo peso que su valor intelectual: un hermoso cuerpo emanado de una frente lúcida; *una gracia* de validez atemporal y, por ello, de eterna madurez; una invocación que ha hecho temblar al cielo y la tierra porque ha abierto las puertas del conocimiento de las leyes de la naturaleza y del hacer de la tecnología. Una belleza que no me parece una consecuencia revelada en el producto terminado, sino un ingrediente de su elaboración. El teorema de Pitágoras se me antoja una aparición, como dije, abstracta y etérea, de Palas Atena.

Muy pertinente el proverbio latino que traes a colación, Jorge Alberto: *Pulchritudo splendor veritatis* (“La belleza es el resplendor de la verdad”), que citó el premio Nobel de Física Werner Heisenberg en su ensayo “La

<sup>5</sup> Esta recopilación de biografías breves de matemáticos destacados, motivada en el grafiti “La matematica non serve a nulla”, escrito en un muro de la ciudad de Bolonia, reseña esta hermosa e inusual cita de un literato.

ciencia y lo bello” (Wilber, 2013).<sup>6</sup> Es muy provocador y provocativo el mensaje de ese ensayo: lo que es cierto es bello y es cierto porque es bello. Al igual que la sentencia de la señora Szymborska me parece que esa reflexión de Heisenberg pone la estética al mismo nivel de importancia frente al conocimiento que la lógica.

¿Por qué provocador y provocativo, me preguntas? Considero que la experiencia estética es profundamente individual y perceptiva. Como tú lo subrayas, su raíz griega originaria se refiere a la facultad de conocer a través de la piel sin recurrir a la lógica y, por lo tanto, una facultad que nos depara una cierta dimensión del placer y del dolor como mecanismo del acto de conocer. Pero no en el sentido que mencionas de promover la alegría como un valor espiritual, como se empeñó en hacerlo Demócrito de Abdera. El “filósofo sonriente”, padre del atomismo como bien sabemos, afirmó que “la risa torna sabio” (“Demócrito”, 2020)<sup>7</sup> y enseñó que se deben afrontar los retos con alegría. Sin embargo, tengo la impresión de que esa postura atañe más bien a las actitudes frente a la vida y frente al conocimiento como parte de la vida que a la estética como ingrediente estructural de la intuición científica. Lo que te planteo va en otra dirección.

En el capítulo 9 de *Il Saggiatore*, Galileo escribió (1623):<sup>8</sup>

La filosofía está escrita en ese grandísimo libro [de la naturaleza] que continuamente está abierto ante nuestros ojos (me refiero al universo), pero que no es posible entender si antes no se aprende la lengua, ni se conocen los caracteres con los que está escrito. Este libro está escrito en lengua matemática, y los caracteres son triángulos, círculos y otras figuras

<sup>6</sup> El libro de Wilber es una interesante recopilación de ensayos místicos de físicos muy importantes del siglo xx, como Werner Heisenberg, Erwin Schrödinger, Albert Einstein, James Jeans, Max Planck, Wolfgang Pauli y Arthur Eddington. Incluye “La ciencia y lo bello” de Heisenberg.

<sup>7</sup> Esta entrada de Wikipedia reseña la sentencia de Demócrito en Séneca, *De Ira* (ii. 10); Aelian, *Varia Historia* (iv. 20).

<sup>8</sup> Existe una traducción al inglés de Stillman Drake y Charles Donald O'Malley (1960). *The Assayer* [English trans. *Il Saggiatore*, in *The Controversy on the Comets of 1618*]. Universidad de Pensilvania.

geométricas sin las cuales es imposible entender una sola palabra; sin ellos, es como girar vanamente en un oscuro laberinto (s. f.).

Esta sentencia amplía en mucho la parca inscripción que se dice que Platón puso en el frontispicio de la Academia hacia 388 a. C.: “No entre aquí quien no sepa geometría”, y tiene un aspecto que encuentro atractivo: la referencia a la lectura, una actividad de carácter individual así la hagamos en voz alta, y muy sensorial, siendo la vista el sentido primordial, pero también con la participación del tacto y aún del olfato. Para quienes, como tú, amamos los libros como objetos, la lectura comienza acunando el ejemplar a leer, sintiendo la textura de su pasta, las dimensiones de su formato, la calidad de su papel y de su tinta, disfrutando de la diagramación, del tipo de grafía y su disposición en la página. Alimentarse del contenido viene después de disfrutar del menú servido.

Pero la lectura no parece terminar ahí: la aspiración de muchos autores (y la naturaleza no parece sustraerse a ello) es que la lectura haga finalmente al libro, que el lector ponga en él lo que la lectura le inspira, de modo que esa experiencia siga el ciclo que percibió sir Arthur Stanley Eddington (1959): “the mind has but regained from nature that which the mind has put into nature [la mente, empero, recupera de la naturaleza aquello que la mente ha puesto en la naturaleza]” (s. p.).

De la cita de Galileo evoco que ese asombro estético, ese placer por la lectura del *libro del universo*, deviene del conocimiento de la geometría, mientras que su ignorancia es una fuente de dolor, o al menos de displacer: el vano girar en un oscuro laberinto. Me gusta imaginar que Platón lo sabía y por eso exigió conocer la geometría para disfrutar ante todo del placer que rodea a la comprensión de la filosofía.

Tienes razón al advertir, Jorge Alberto, que no le damos valor estético a todo lo perceptual. En el libro III de sus *Principia Mathematica Philosophiae Naturalis*, sir Isaac Newton enunció las *Regulae Philosophandi*, reglas de

filosofía natural para avanzar en el conocimiento de la física (Newton, 2011):

No deben admitirse más causas de las cosas naturales que aquellas que sean verdaderas y suficientes para explicar sus fenómenos.

Por ello, en tanto que sea posible, hay que asignar las mismas causas a los efectos naturales del mismo género.

Han de considerarse cualidades de todos los cuerpos aquellas que no pueden aumentar ni disminuir y que afectan a todos los cuerpos sobre los cuales es posible hacer experimentos.

Las proposiciones obtenidas por inducción, a partir de los fenómenos, pese a las hipótesis contrarias, han de ser tenidas, en filosofía experimental, por verdaderas exacta o muy aproximadamente, hasta que aparezcan otros fenómenos que las hagan o más exactas o expuestas a excepciones (p. 615).

Al menos en la última regla, la participación de los sentidos no solo es evidente, sino fundamental. La experimentación, que Newton consagra como única fuente confiable de certeza científica, se basa en la extensión y ampliación de los sentidos a través de instrumentos y aparatos. El manido concepto *augmented reality* (realidad aumentada o ampliada), enarbolado en los últimos años como una novedad de la realidad virtual, está, en mi opinión, mucho mejor realizado en los laboratorios de microscopía de alta resolución, en los observatorios de exoplanetas y de ondas de gravitación, en los laboratorios de láseres de attosegundos que permiten ver, paso a paso, la manera como un electrón se desprende de un átomo en un proceso de ionización, en los laboratorios que emplean pinzas ópticas, un dispositivo donde la luz se usa como una mano para asir microobjetos y, simultáneamente, como ojo para ver el objeto que se ha atenazado, por citar pocos pero esplendorosos ejemplos. Sin embargo, esa extensión de los sentidos en la experimentación a la que se refiere Newton no es para la estética, sino para la lógica y está gobernada por las primeras reglas, de manera que, metódicamente, permita clasificar las causas y los efectos y separar

lo que es genérico en todos los cuerpos de sus peculiaridades individuales. No hay cabida, expresa ni tácita, para experiencias estéticas. ¿Crees que este papel que le da Newton a los sentidos es un reflejo de puritanismo inglés?

Atendiendo a tu petición de claridad, puntualizo entonces que la línea de reflexión que pretendo, y sobre la que quiero conversar, no es la de Newton sino la de Galileo, a la que Werner Heisenberg (1975)<sup>9</sup> contribuyó con esta cita:

“Al principio era la simetría”. Sin duda, lo anterior es más acertado que la tesis de Demócrito “al principio era la partícula”. Las partículas elementales encarnan las simetrías, son aquellas las representaciones más sencillas de estas, pero, no son más que una consecuencia de las simetrías (p. 293).

Sin duda, con la palabra *simetría* en esta cita Heisenberg se refiere a ciertos atributos de objetos matemáticos, ya sean cuerpos geométricos o funciones. No obstante, concuerdo contigo en que este uso de esa palabra no elimina su origen sensorial ni neutraliza su valor estético. En contextos amplios, la comprensión lógica de una simetría cede terreno, o al menos aparece muy mediada por el placer o displacer que nos pueda causar su percepción. Sin perder de vista este aspecto, quisiera resaltar una peculiaridad fascinante en la cita de Heisenberg: la palabra simetría no describe el estímulo de una reacción sensorial en un espectador, sino que nombra una fuerza de la naturaleza, una fuente de la realidad. Con esta cita de respaldo, el proverbio latino que estamos comentando adquiere un peso importante: efectivamente aquello que es cierto (porque es real) lo es porque es bello. Además, nos señala una ruta novedosa en esta conversación: la consonancia entre la simetría como facultad de la naturaleza y nuestra sensibilidad estética hacia ella nos permite acceder a la comprensión última de la realidad del cosmos, leer el libro del universo al que se refirió Galileo.

<sup>9</sup> Esta es otra recopilación de ensayos de Werner Heisenberg sobre diversos temas de filosofía, epistemología y anécdotas personales.

Entonces, mi síntesis hasta este momento de la conversación es que, al parecer, la lógica estimulada por la estética despierta la intuición en ciencias, activa el sexto sentido de percepción de los científicos para asegurar la comprensión plena de su conocimiento. Debo subrayar que esa dimensión de la intuición no es de carácter psicoemocional, sino intelectual, lo que permite plasmarla explícitamente en el cuerpo del conocimiento científico y socializarla en las comunidades que usufructúan ese conocimiento. Así que encuentro muy acertado que hayas propuesto a Atenea y su encarnación mortal en Hipatia como símbolos de este tema. Tal metáfora puede ser un cliché, pero es suficientemente elocuente para acercarnos a la noción de intuición que estamos indagando.

### El ojo científico

Falta el órgano de ese sexto sentido de percepción científica, dices. ¡Cierto! No lo hemos nombrado. Para eso ayuda recordar el artículo que Albert Einstein, radicado ya en Princeton, firmó con Borís Podolski y Nathan Rosen en 1935, haciendo una aguda crítica a la mecánica cuántica. El párrafo inicial de ese artículo dice:

Any serious consideration of a physical theory must take into account the distinction between the objective reality, which is independent of any theory, and the physical concepts with which the theory operates. These concepts are intended to correspond with the objective reality, and by means of these concepts we *picture* this reality to ourselves.

[Cualquier consideración seria de una teoría física tiene que tener en cuenta la distinción entre la realidad objetiva, que es independiente de cualquier teoría, y los conceptos con los cuales opera esta teoría. Tales conceptos deben corresponder con la realidad objetiva, y es por medio de ellos que construimos, para nosotros, una imagen de dicha realidad] (Einstein, Podolsky y Rosen, 1935, p. 777).<sup>10</sup>

<sup>10</sup> En este artículo, bellamente escrito, los autores comienzan declarando su posición epistemológica en física y, desde esta postura, lanzan una de las críticas más agudas a la mecánica cuántica, conocida hoy como paradoja EPR, por las iniciales de sus apellidos.

He tomado la cita en su idioma original porque quiero llamarte la atención sobre el uso de la palabra *picture*. Convencionalmente, es un sustantivo genérico para nombrar los objetos perceptibles por la vista y, en ese sentido, externos al observador: cuadros, fotos, panoramas... No obstante, Einstein utiliza esa palabra como un verbo de tipo reflexivo que describe la facultad intelectual de aproximarnos a la realidad de los fenómenos físicos, a través de la *sensación visual* que se despierta cuando los relacionamos con los conceptos teóricos apropiados. En otras palabras, tenemos un *ojo* intelectual para intuir esa realidad.

Ciertamente, la elaboración de los conceptos científicos es cosa de la lógica. Este *sentido* intelectual es nuestro Hefestos, pero no el que forja rayos para Zeus, sino el que fabrica un ojo para la mente. ¿Por encargo de Atenea? Tu explicación me gusta más: el fuego que Prometeo robó del Olimpo para el hombre también prodiga la luz de esa intuición que nos permite *ver* las correspondencias entre los fenómenos y los conceptos teóricos. Y agrego, evocando a EPR, que llamamos *matemáticas* al ojo sensible a esa luz, un término supuestamente acuñado por Pitágoras para nombrar a la lógica como facultad de aprehender, es decir, la facultad de hacernos un cuadro mental de tipo visual sobre la realidad. No es accidental que uno de los legados intelectuales más valiosos de los griegos haya sido la geometría. Es evidente que Heisenberg fue respetuoso de ese legado.

Concebir las matemáticas como un *ojo* para intuir la realidad es un novedoso punto al que nos ha llevado esta conversación. Usualmente, consideramos las matemáticas como un arte gráfico muy riguroso para escribir, de forma abreviada y precisa, ideas y aspectos de la realidad que son muy complejos ¿Una caligrafía dices? (DEEL, 2020). Ese es un excelente término para nombrar la escritura de funciones y ecuaciones, así como el desarrollo de modelos matemáticos: esto solo puede hacerse escribiendo. ¿Recuerdas que para celebrar el advenimiento del tercer milenio se convocó, en el año 2000, una votación mundial entre los físicos para esco-

ger la ecuación más hermosa de la física? Eso me trajo a la memoria los cuentos orientales sobre el poder simbólico de los ideogramas más hermosos, y también que los musulmanes reemplazaron su prohibición de íconos en las mezquitas por citas del Corán en las que despliegan, en todo su esplendor, la belleza de la caligrafía de su lengua. En el concurso de ecuaciones no ganó una, ganaron cuatro: las ecuaciones de Maxwell, que establecen las leyes de la electricidad y el magnetismo.

Pero también consideramos las matemáticas como una técnica para hacer cálculos, para asignar números que nos permiten hacer mediciones precisas de ciertos aspectos de la realidad. Esta concepción es tan arraigada que el positivismo, tácito en las reglas de filosofía natural de Newton, implica que solo aquello que puede ser medible por experimentación puede ser cierto. Confieso que no comparto esta concepción, ¿y tú? Una última consideración convencional de las matemáticas, tal vez la más usual, es la de lenguaje, el más preciso quizá para referirnos a la realidad.

Como tú has subrayado muchas veces, cualquiera sea la noción sobre las matemáticas, la precisión aparece como su atributo distintivo, un atributo que nombra su esencia libre de ambigüedades, redundancias, incertidumbres y contradicciones internas. Sin embargo, en mi opinión, esas nociones, tan ampliamente difundidas y, por supuesto, ciertas, son ingenuas frente a la dimensión que estamos planteando, de ojo intelectual para percibir la realidad en sus detalles abstractos más delicados y, en ese sentido, de órgano para intuirlos, dando cumplimiento al poético proverbio latino *Pulchritudo splendor veritatis*. En ese sentido, la cita del premio Nobel de Física Wolfgang Pauli que acabas de recordar, una de sus pocas declaraciones sobre su visión filosófica de la física, es aún más provocadora:

Al emerger de un centro interior, la psique parece moverse de manera extrovertida en los cuerpos del mundo, en los que hay algo automático que permite comprender todos los acontecimientos, de modo que el espíritu influya en este mundo de los cuerpos tranqui-

lamente y, con sus ideas, logre producir los cambios de este mundo (Heisenberg, 1974, p. 37).<sup>11</sup>

En esta noción de Pauli, ese término tan auténticamente griego, la *psique*, no se limita a nombrar un atributo del ser humano sino una especie de potencia que fluye hacia los cuerpos, permitiéndonos su comprensión a través de *algo automático*. Intuyo, y me disculpo por usar en mi argumento el objeto mismo de nuestra conversación, que tácitamente se refiere a la intuición misma, ahora también como facultad de influir en el mundo de los cuerpos. A mi modo de ver, Pauli nos provoca más, al menos a mí, porque sugiere un nuevo rol para la intuición: no se trata solo de una capacidad perceptiva, sino también de una facultad activa. Y también intuyo, no tengo otra palabra para decirlo, que esa noción de Pauli se emparenta con la sentencia de Parménides de Elea, en el poema que escribió hace unos veinticinco siglos: “El pensamiento y el ser se refieren a la misma cosa” (“Parménides de Elea”, 2020).<sup>12</sup>

Qué bueno, Jorge Alberto, que has mencionado a Einstein en esta síntesis intuitiva sobre la intuición, cuando afirmó, en consonancia con Galileo, que “la Naturaleza es la realización de las ideas matemáticas más sencillas que cabe concebir”. En esa línea de reflexión, la hermosa cita de la señora Szymborska adquiere también un color inesperado: es cierto que el teorema de Pitágoras es un poema universal, y la *gracia* que hay en él, y que no a todos los poetas les ha sido concedida, se llama justamente Matemáticas. Sabemos bien que no tendríamos Física sin ese ojo.

### Quien tenga ojos, que vea

Lo que hemos conversado hasta ahora, Jorge Alberto, no es solo asunto de epistemología o filosofía de la

<sup>11</sup> Este libro es una recopilación de ensayos de Heisenberg sobre diversos temas, particularmente sobre su formación y desarrollo científico, que incluye anécdotas de sus relaciones personales con físicos importantes de la época, como su mentor Niels Bohr y su amigo Wolfgang Pauli, de quien recoge esta cita.

<sup>12</sup> Esta entrada de Wikipedia dedica una parte extensa a discutir interpretaciones de los fragmentos del poema épico de Parménides, que han sobrevivido a lo largo del tiempo.

ciencia. Hay suficientes ejemplos de avances cruciales de la física que se realizaron a través del ejercicio de esa facultad de intuición intelectual, cuya percepción estética juega un rol crucial. Acepto tu propuesta de comenzar con la figura magnífica de James Clerk Maxwell, quien siguió el ojo de su intuición estética cuando sistematizó las leyes de la electrodinámica hacia 1865 (Maxwell, 1865).<sup>13</sup> Al escribirlas, llegó a una conclusión que sugiere un único camino de síntesis: la falta de un término por comparación de grafías. En notación moderna, las grafías de las leyes que él apreció son:

$\nabla \cdot \mathbf{E} = \frac{\rho}{\epsilon_0}$	$\nabla \cdot \mathbf{B} = 0$
$\nabla \times \mathbf{E} = - \frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t}$	$\nabla \times \mathbf{B} = \mu_0 \mathbf{J}$

Para nuestra conversación no son indispensables sus significados físicos específicos, sino la apreciación de sus diseños gráficos, de su caligrafía, y unas nociones muy básicas acerca de esos signos. Por ejemplo, los signos  $\nabla \cdot$  y  $\nabla \times$  representan operaciones matemáticas que se hacen, por igual, sobre los símbolos  $\mathbf{E}$ , que representa la electricidad, y  $\mathbf{B}$ , que representa al magnetismo, que son fenómenos físicos inmateriales. Los símbolos  $\rho/\epsilon_0$  y  $\mu_0 \mathbf{J}$  representan las propiedades de la materia asociadas con la electricidad y el magnetismo, respectivamente. El símbolo  $\partial/\partial t$  también representa una operación matemática que se aplica solo al magnetismo. Es evidente, entonces, que esas leyes relacionan la electricidad y el magnetismo con propiedades específicas de la materia, por supuesto

<sup>13</sup> En este extenso y detallado artículo, Maxwell presentó su electrodinámica completa, incluyendo su predicción de la existencia de las ondas electromagnéticas y su intuición de que la luz era una de esas ondas, “una ondulación del mismo medio que produce la electricidad y el magnetismo”. Aunque empleó la grafía de las ecuaciones diferenciales y no la de los operadores diferenciales, que fue introducida posteriormente, su apreciación de las leyes del electromagnetismo fue exactamente la comentada en el texto.

diferentes en tanto que los símbolos  $\nabla \cdot \mathbf{E}$  y  $\nabla \times \mathbf{B}$  lo son; pero es aceptable concluir que la relación de la materia con la electricidad y el magnetismo está completa. Sin embargo, los símbolos  $\nabla \times \mathbf{E}$  y  $\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t}$  relacionan a la electricidad y el magnetismo entre sí en una sola dirección, debido a la marcada diferencia de las operaciones  $\nabla \times$  y  $\partial/\partial t$ : el símbolo  $\nabla \times \mathbf{E}$  se refiere a variaciones de la electricidad en el espacio, mientras que el símbolo  $\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t}$  se refiere a variaciones del magnetismo en el tiempo. Pero no aparece la grafía simétrica que relacione variaciones del magnetismo en el espacio con variaciones de la electricidad en el tiempo. Con la convicción de que la naturaleza es simétrica, Maxwell identificó esa asimetría caligráfica como una restricción del significado completo de las leyes.

Haces bien en advertir que no se trata solo de un asunto de caligrafía, Jorge Alberto, porque estamos hablando de leyes de la naturaleza y con seguridad Maxwell lo tuvo claro, porque fue un físico excepcional y para la época era director fundador del Laboratorio Cavendish de la Universidad de Cambridge. Aun así, se decidió por el atrevimiento de su intuición, un atrevimiento de gran calado porque no atendió las reglas de filosofía natural de Newton, si tenemos en cuenta que las leyes del electromagnetismo son experimentales, es decir, son “proposiciones obtenidas por inducción de los fenómenos” y, por lo tanto, “deben ser miradas como exactas o aproximadamente verdaderas”. Peor aún, no siguió la ruta de solución del problema, señalada por esas reglas de filosofía natural. En efecto, en lugar de buscar “otros fenómenos que hagan ver que están sujetas a excepciones”, es decir, en lugar de diseñar y realizar experimentos en su laboratorio para obtener por inducción la grafía faltante, decidió buscarla a través de razonamientos matemáticos.

Estoy de acuerdo con tu anotación, Jorge Alberto: Maxwell decidió completar una ley de la naturaleza a partir de su intuición estética (Lederman y Hill, 2006).<sup>14</sup> Pudo haber considerado que los experimentos

<sup>14</sup> La simetría es una noción muy arraigada en física, hasta el punto que

que permitieron la síntesis de las leyes del electromagnetismo no fueron suficientes para *ver* el grafo faltante. Y como tú anotas, un razonamiento matemático muy simple para nosotros, habituados al uso de ese ojo, pero físicamente riguroso, le develó la grafía buscada “ahí, al lado...” y corrigió la caligrafía de la ley correspondiente:

$$\nabla \times \mathbf{B} = \varepsilon_0 \mu_0 \frac{\partial \mathbf{E}}{\partial t} + \mu_0 \mathbf{J}$$

¡Una ley natural que se completa por una intuición estética! Pero su visión intuitiva no terminó ahí: le mostró con plena nitidez otro objeto de la naturaleza, invisible para los experimentos de esa época: las ondas electromagnéticas, entre ellas la luz, como lo plasmó en su artículo. No obstante, Maxwell fue como Moisés, que avizó la tierra prometida mientras moría. Esa tierra prometida, la del resultado experimental, fue pisada por primera vez ocho años después de su muerte. Heinrich Hertz siguió las instrucciones dictadas por el ojo matemático de Maxwell y construyó el dispositivo experimental que le permitió detectar las ondas electromagnéticas, tal y como Maxwell las *percibiera* con su ojo estético. Después de tantos años de conocer esta historia me sigue provocando una impresión profunda, Jorge Alberto.

Otro ejemplo atractivo, que involucra una ironía en su desenlace, es el de la Teoría de Difracción de Fresnel. Hacia 1650 el jesuita Francesco Grimaldi, también conocido como Grimaldo, realizó experimentos en los que observó un comportamiento peculiar de la luz, que denominó difracción. Registró sus observaciones en su único libro, *Physico-Mathesis de Lumine, Coloribus et Iride (Físico-matemática de la luz, el color y la iridiscencia)*, publicado en 1665, dos años después de su muerte: “Lumen propagatur seu deffunditur non solum Directe, Refracte, ac Reflexe, sed etiam alio

Heisenberg la elevó a la categoría de potencia de la naturaleza. Esta referencia y el bello texto de mi profesor de física en la Universidad de Antioquia —Alonso Sepúlveda (2003). *Estética y simetrías*. Editorial Universidad de Antioquia—, complementan en mucho el panorama de su rol en física.

quodam quarto modo, Diffracte [La luz propagada se difunde no solo de manera directa o por refracción y reflexión; existe incluso un cuarto modo: se difracta]” (Grimaldi, 1665, p. 1. Propositio I).

Una particularidad de ese comportamiento de la luz es la posibilidad de “producir oscuridad sumando luz”. Pero hubo que esperar hasta inicios del siglo XIX para que esa posibilidad fuera convertida en resultado experimental inobjetable. Efectivamente, en un curioso y sencillo experimento que Thomas Young presentó ante la Royal Society of London, en 1801, produjo franjas oscuras al agregar luz sobre una superficie ya iluminada. Ese experimento no fue bien recibido en Inglaterra y eso motivó la convocatoria de la Academia de Ciencias de Francia a un concurso internacional, para “dirimir de una vez por todas la cuestión sobre la naturaleza de la luz”. Augustin-Jean Fresnel presentó una teoría matemática acorde con los experimentos de Grimaldi y Young, pero, sobre todo, basada en un principio intuitivo planteado en el siglo XVII por Christiaan Huygens (2005):

Al estudiar la dispersión de estas ondas [de luz], hemos de considerar aún que toda partícula de materia por la cual avanza la onda, no solamente comunica su movimiento a la partícula siguiente, la cual está en la línea recta trazada desde el punto luminoso, sino que también confiere necesariamente movimiento a todas las otras que la tocan y que se oponen a su movimiento. El resultado es que, alrededor de cada partícula aparece una onda, en cuyo centro estará la partícula (p. 20).

Tienes razón Jorge Alberto, la lógica de esta descripción es rigurosa y se ajusta a observaciones de ondas mecánicas como las que se producen en la superficie de un líquido. Pero no es una proposición obtenida por inducción de un experimento óptico, sino una analogía con observaciones de ondas mecánicas, es decir, una metáfora, un recurso intuitivo y estético que tú conoces muy bien, porque eres un literato. De hecho, muy pocos científicos del siglo XVII pensaban que la luz pudiera ser una onda. Tu anotación es precisa, Jorge Al-

berto: aparte de Huygens, René Descartes afirmó, en su *Dioptrique* (1637):<sup>15</sup> “recordando la naturaleza que yo he atribuido a la luz, cuando dije que no es otra cosa que un cierto movimiento o una acción concebida en una materia muy sutil, la cual llena los poros de todos los cuerpos” (p. 9).

Descartes estaba convencido, por intuición racional, que la luz eran ondulaciones del éter. Agregó que, en esa época, solo Grimaldi parece haber realizado experimentos donde se observaran resultados atribuibles a un comportamiento ondulatorio de la luz. Quizá por ello, tímidamente, anotó en su libro: “Saltem aliquando etiam undulatum [y a veces (la luz) incluso también ondula]” (Grimaldo, 1665, p. 12. Propositio II).

Así que Fresnel solo contaba con intuiciones para fundamentar su teoría. Pero ¿acaso no son intuiciones aquello que llamamos principios, por ejemplo, el principio de inercia de Newton, el principio de menor distancia recorrida por la luz, planteado por Herón de Alejandría, en el siglo I, el principio de mínimo tiempo en el recorrido de la luz, establecido por Pierre de Fermat en el siglo XVII? Razonables, justificados, con capacidad de conducir a las leyes empíricas de la naturaleza a través de razonamientos lógico-matemáticos, pero, al fin y al cabo, intuiciones; eso sí, ajustadas a la descripción de la intuición intelectual y estética que estamos conversando.

Acertado tu apunte, Jorge Alberto: la intuición de Fresnel fue sometida a prueba de fuego por el académico Siméon Poisson, quien señaló que la teoría de Fresnel conducía, según él, a predicciones contra natura: la aparición de un punto brillante en el centro de la sombra que proyecta un cuerpo opaco al ser iluminado y la aparición de una mancha oscura en el centro de un patrón luminoso producido al iluminar un agujero. Te he escuchado decir que las discusiones con newtonianos se basan en criterios diferentes a las discusiones con cartesianos. Los newtonianos se inclinan por discutir

<sup>15</sup> Este célebre ensayo de Descartes fue completado con otros, entre ellos el tratado de óptica que denominó *La Dioptrique*.

sobre el conocimiento alrededor de resultados experimentales y mediciones que han realizado; en contraste, las discusiones de los cartesianos parecen gravitar alrededor de la consistencia y generalidad de las teorías. No es que los primeros olviden la teoría, sino que supeditan los alcances teóricos a los de los experimentos, mientras que los segundos no olvidan los experimentos, pero los usan como casos que soportan la generalidad de las teorías. Son actitudes diferentes, y el tema que nos tiene en este intercambio tan animado de ideas se corresponde más con el segundo tipo de actitud.

Efectivamente, como buen newtoniano, el miembro del jurado Poisson solo admitiría como evidencia de validez de la teoría de Fresnel un resultado experimental que verificara lo que él había calificado de antinatural. Las pruebas experimentales fueron presentadas en 1818 por Fresnel y el académico Francois Dominique Arago. La teoría de Fresnel fue galardonada como *Mémoire Couronné* y el punto brillante en el centro de la sombra de un balín de perdigón iluminado pasó a la historia como el punto de Poisson, en un final con cierta ironía humorística. La intuición estética y matemática, consagrada en lo que hoy llamamos Principio de Huygens-Fresnel, despertó, a lo largo del siglo XIX, una conciencia sobre la naturaleza de la luz que no se había tenido antes y que llegó a su punto más alto con la intuición de Maxwell. La conocemos como concepción ondulatoria de la luz.

Estoy de acuerdo contigo, Jorge Alberto, en que la física desarrollada en los primeros treinta años del siglo XX tiene ejemplos de intuiciones profundas, cuya comprensión requiere considerar a los protagonistas a la par que a sus explicaciones. La física que se ha realizado posteriormente, en particular la dedicada al desarrollo de tecnología, es mucho más impersonal y basa su ejercicio en el grupo de investigación y en la inversión de recursos más que en el ejercicio de la intuición intelectual y estética. Además, hizo carrera el refrán anglosajón: “Shut up and calculate! [¡Cállate y calcula!]”.

Este comentario que hago, y que noto que consientes, no es una crítica sino más bien una confirmación del

poder de las intuiciones que caracterizaron ese primer tercio del siglo XX: esas intuiciones no se han agotado aún, casi un siglo después de haber sido formuladas, por lo que no ha sido necesario todavía intuir nuevas realidades.

Comentemos unas pocas, pero significativas intuiciones, que caracterizaron un distintivo de esa época: la formulación de postulados para abordar el reto de explicar resultados de experimentos inexplicables desde el conocimiento establecido. Dices que es muy manido el ejemplo de la radiación del cuerpo negro y lo acepto. Pero me gusta hablar de él por un detalle: el miedo que pueden despertarnos nuestras intuiciones.

Es muy conocido que Max Planck postuló con el nombre de *quantum* de energía electromagnética lo que hoy conocemos como fotón, para poder obtener la expresión matemática que predice exactamente el espectro de radiación del cuerpo negro. También que él no reconoció al *quantum* como un objeto físico que hiciera parte del fenómeno llamado radiación de cuerpo negro, sino como un objeto matemático necesario para obtener la función apropiada cuya escritura correspondiera con los datos experimentales reportados por Wilhelm Wien. Es decir, Planck optó por una intuición similar a la que siguió Maxwell, pero no se permitió llegar, como Maxwell, a las últimas consecuencias, planteando el *quantum* como un objeto físico.

A menudo se mira a las matemáticas como el universo maravilloso del conocimiento científico, como lo es el mundo de las hadas, los duendes y los elfos para la literatura, de suerte que buena parte de las matemáticas es mirada con la desconfianza que producen los espejismos y los temores que despiertan las apariciones: no todo lo que las matemáticas dicen es real o concreto. Al fin y al cabo, las matemáticas no dejan de ser una poética, en el sentido en que lo definiera el lingüista Tzvetan Todorov (Todorov y Ducrot, 1983),<sup>16</sup> un lenguaje que

<sup>16</sup> Varias son las funciones que caracterizan a los lenguajes y permiten clasificarlos. Los lenguajes de las ciencias naturales se caracterizan por una función referencial muy sólida, pues codifican fenómenos por fuera del lenguaje mismo. Pero los objetos matemáticos solo se refieren a otros objetos matemáticos, por lo que su función primordial es el de una poética.

se refiere a sí mismo. Planck creyó haber visto un hada en el *quantum*. Acepto que me digas que soy injustamente irreverente, pero soy honesto con la sensación que me causa esa historia, que me evoca además la sensación de un chamán de la comunidad yaqui, en un popular texto de los años setenta: “Un hombre con miedo no llega a ser un hombre de conocimiento” (Castaneda, 2012, s. p.).<sup>17</sup>

Más vale, como Wotan, el dios principal del panteón nórdico, entregar uno de los ojos por un sorbo de sabiduría. Esa asimetría en la cara de Wotan sugiere interesantes implicaciones del camino del sabio: entiendo su cuenca vacía como la necesidad de la “mirada hacia el interior” del invidente, es decir, la intuición para guiar con el acierto del complemento reflexivo a la percepción del exterior del vidente. Pero Planck se decidió por la claridad que le daba conservar ambos ojos, y la claridad es el segundo enemigo del hombre de conocimiento. Está bien, Jorge Alberto, dejaré tranquilo a Planck, sobre todo porque el más intuitivo de los físicos del siglo xx, Albert Einstein, acudió en su respaldo y dio el paso que Planck no quiso dar: mostró que el *quantum* era un objeto físico necesario para comprender cómo la luz era capaz de desprender electrones de un material iluminado, un fenómeno que llamamos efecto fotoeléctrico, tan cotidiano hoy en día en nuestro paisaje tecnológico de cámaras electrónicas, celdas solares y fotoceldas. En ciencia, particularmente en física, una visión intuitivo-matemática nunca es demasiado maravillosa para ser solo poética.

Sin embargo, aunque la intuición de Einstein fue confirmada por otros experimentos, como el efecto Compton, no todos los científicos importantes la aceptaron de buena manera. Me impresiona, en particular, la forma como se refirió a ella Robert Millikan, en su disertación de recepción del Premio Nobel de Física, dos años después de que Einstein hubiera recibido el suyo por la explicación del efecto fotoeléctrico: “el concepto de cuantos de luz localizados a partir del cual Einstein

<sup>17</sup> Don Juan señaló cuatro enemigos secuenciales del hombre de conocimiento: el miedo, la claridad, el poder y la vejez, en su orden.

consiguió su ecuación debe ser considerado aún como lejos de estar establecido”.

Me alegra que propongas que comentemos la intuición de simetría de la naturaleza, que llevó al príncipe Louis-Victor Pierre Raymond, séptimo duque de Broglie, a la visión de las ondas de materia, cuando no había evidencias ni teóricas ni experimentales de ello. Solo el indicio, bien establecido, de que la radiación electromagnética se comporta como las ondas y también como las partículas, dependiendo de la situación experimental, específica:

En conversaciones que frecuentemente sostenía con mi hermano [Maurice, físico experimentalista] siempre llegábamos a la conclusión de que los Rayos X se caracterizaban por ser corpúsculos y también ondas. Por ello, en el curso de verano de 1923, repentinamente concebí la idea de ampliar esta dualidad a las partículas materiales, especialmente a los electrones. Recordé que la teoría de Hamilton-Jacobi señalaba algo en esa dirección, ya que ella es aplicable a las partículas y, además, representa la óptica geométrica; por otra parte, en cuántica se obtienen los números cuánticos de los fenómenos, que raramente se encuentran en mecánica, pero ocurren frecuentemente en manifestaciones ondulatorias y en todos los problemas que se ocupan del movimiento de las ondas.

Así lo narró en una entrevista en 1963. Dos experimentos independientes y, a posteriori, uno accidental, y el otro siguiendo las instrucciones lógicas de su visión, la respaldaron sólidamente (Eisberg y Resnick, 1978).<sup>18</sup> Con ello, a inicios de los años treinta del siglo xx se desarrolló un instrumento que nos permitió ver los objetos de la naturaleza a escala molecular: el microscopio electrónico. No obstante, la historia del príncipe es también irónica: su ojo intuitivo tuvo una cierta *miopía*, de modo que su visión no fue perfecta y, cuando se lo señalaron, no pudo corregirla. Así que

<sup>18</sup> Esos experimentos fueron realizados en 1927, de manera separada, por Clinton Joseph Davisson, en Estados Unidos, y sir George Paget Thomson, en Inglaterra, quienes compartieron el Premio Nobel de Física de 1937 por sus resultados.

poco después de recibir el Premio Nobel de Física de 1929 optó por silenciarse. Para muchos, ese silencio que, con pocas excepciones, mantuvo a lo largo de su vida, no fue prudencia, sino derrota. No obstante, Jorge Alberto, no estoy convencido de ese sentimiento de derrota, porque la fundación que financió con el premio y que le sobrevive instituyó como lema de su pantalla de entrada una cita de su obra *Nouvelles Perspectives en Microphysique* (De Broglie, 1956), con un indudable tinte de rebeldía:

L'histoire des Sciences montre que les progrès de la Science ont constamment été entravés par l'influence tyrannique de certaines conceptions que l'on avait fini par considérer comme des dogmes. Pour cette raison, il convient de soumettre périodiquement à un examen très approfondi les principes que l'on a fini par admettre sans plus les discuter.

[La historia de la ciencia muestra que su progreso se ha visto constantemente obstaculizado por la influencia tiránica de ciertas concepciones que han llegado a ser consideradas como dogmas. Por esta razón, es conveniente someter a examen periódico y a profundidad los principios que hemos llegado a admitir sin discusión] (s. p.).

Permíteme referirme a dos últimas visiones intuitivo-estéticas espectaculares del ojo matemático, que han antecedido a la percepción experimental: el bosón de Higgs, que da masa a los cuerpos que nos rodean, y las ondas gravitacionales, que establecen las oscilaciones de una noción física compleja y difícil de aprehender: el espacio-tiempo. Hubo cuarenta años de distancia entre la deducción matemática que Peter Higgs hizo de su bosón y el registro experimental de su existencia en el laboratorio de colisiones de partículas elementales de la Organización Europea para la Investigación Nuclear (CERN, por su sigla en francés, Conseil Européen pour la Recherche Nucléaire). Por fortuna, ese lapso de casi medio siglo no impidió que Higgs, en persona, fuera galardonado con el Premio Nobel de Física. En el caso de las ondas gravitacionales fue Einstein quien las intuyó en 1915; su detección ocurrió justo un siglo

después y a medio siglo de la muerte de Einstein, como resultado del experimento desarrollado por una empresa mundial de ciencia y tecnología, como se desprende de la lista de coautores y empresas de apoyo registrada en el artículo en que se reportó por primera vez su detección (Abott et al., 2016).<sup>19</sup>

Dices que no podemos dejar de comentar la actitud intuitiva de Niels Bohr para validar su visión del átomo como un microcosmos, un sistema planetario que existe en la escala de un ángstrom, es decir una diezmillonésima de milímetro. Tienes razón, Jorge Alberto, es importante considerar la rebeldía de Bohr. A pesar de que el concepto de átomo fue intuido por Demócrito hace alrededor de veinticinco siglos, el átomo como una realidad científica tiene algo más de un siglo de existencia. Unos seis años después de descubrir experimentalmente el electrón, en 1897, Joseph John Thomson propuso un modelo de átomo para la materia, razonablemente ajustado a su observación de que los electrones eran partículas de masa muy pequeña, arrancadas de una placa metálica, que no perdía la distribución continua de su material, y los instrumentos no lograban discernir el cambio de su masa luego de la emisión de los electrones. Entonces, antes de la emisión, los electrones debían estar incrustados en la distribución continua y muchísimo mayor de masa de la placa metálica, que además debía tener carga eléctrica positiva para neutralizar la carga eléctrica negativa de los electrones, ya que las placas metálicas no tenían el comportamiento de los cuerpos eléctricamente cargados. Esta imagen visual dio lugar a una metáfora coloquial: un pastel de pasas donde la placa metálica era el pastel y los electrones eran las pasas. Por supuesto, un átomo era una fracción de ese pastel, que el mismo Thomson estimó del tamaño de un ángstrom; es decir, una minúscula miga con pasas y todo, que se conoce como el modelo atómico del pastel de pasas (Eisberg y Resnick, 1978).

Cierto, Jorge Alberto, los buenos estudiantes aventajan definitivamente a sus maestros. Y sé que no lo dices

<sup>19</sup> El artículo lista algo más del millar de coautores, en tres páginas, y un par de cientos de empresas e instituciones colaboradoras, en dos páginas.

con nostalgia, sino como una aspiración sincera que tenemos los que hemos abordado la educación como la antorcha que Diógenes empleaba para buscar de día al hombre. Como dices, un aventajado discípulo de Thomson, Ernest Rutherford, demostró experimentalmente que la carga eléctrica positiva del material de la placa no se distribuía continuamente en el volumen, sino que, por el contrario, debía estar concentrada en regiones mucho menores que un ángstrom, donde también debía estar contenida la masa en fracciones mucho mayores que la masa del electrón. Hoy conocemos esa fracción de masa y carga eléctrica con el nombre de protón y sabemos que su masa es alrededor de mil veces mayor que la masa de un electrón. Como dices, Jorge Alberto, la continuidad de la placa metálica es una apariencia, porque con nuestros sentidos no podemos advertir que, en su estructura fundamental, la placa metálica es efectivamente discontinua, con intersticios vacíos incluso mayores que los alojamientos de la masa. Peor aún, el átomo no podía ser un minipastel de pasas.

No obstante, no fue difícil plantear un modelo atómico alternativo que permitiera visualizar (según la idea de Einstein que ya comentamos) una estructura eléctricamente neutra, en la que las masas y las cargas eléctricas estuvieran concentradas en puntos, porque se apeló al modelo planetario conocido desde Newton, cuya ley natural, la de gravitación, tiene una forma matemática completamente similar a la ley por la que los cuerpos cargados se atraen y se repelen, descubierta experimentalmente por un sabio de la época napoleónica, Charles-Augustin de Coulomb. Como dices, Jorge Alberto, el protón, de mucha mayor masa que el electrón, se puso en el centro de ese minisistema y el electrón lo orbita, como lo hace un planeta alrededor de su estrella.

Aunque todo parezca finalmente ordenado, un problema grave surgió: las leyes de la electrodinámica establecen que una partícula cargada que se mueva en una trayectoria curvilínea, como una órbita, por ejemplo, tiene que emitir energía en forma de radiación electromagnética. La consecuencia es fatal: al perder energía el electrón debe reducir la distancia que lo separa del protón, describiendo realmente una espiral de colapso

final con el protón. En otras palabras, un modelo planetario para el átomo no es estable y duraría muy poco, de suerte que no podríamos decir, como lo promulgó Demócrito, que todo ser del cosmos está edificado con esos átomos. ¿Qué ocurre en el caso de los planetas? Lo aclaraste acertadamente, Jorge Alberto: la gravitación depende de la masa del planeta y de su estrella, no hay cargas eléctricas involucradas; además, la gravitación conserva la energía de los planetas en su movimiento, de suerte que pueden orbitar sin colapsar contra la estrella, aunque estén tan cerca como Mercurio del sol.

Bien sabemos, Jorge Alberto, que las leyes naturales son inexorables: no admiten excepciones ni exégesis. Y Bohr era consciente de ello porque fue uno de los físicos insignes del siglo xx. Por eso me impresiona la fortaleza de su intuición que lo hizo aferrarse al modelo atómico planetario frente a ese escenario adverso de experimentos que respaldaban la ley de emisión de radiación y los descubrimientos del electrón y del protón. ¿Crees que se hubiera debido a la tradición danesa de la física, tan arraigada en la astronomía? Algunas veces te escuché comentar la profunda influencia del astrónomo Tycho Brahe en la tradición científica de su país, el mismo de Bohr. Sea como fuere, Bohr promulgó osadamente cuatro postulados, entre los cuales está aquel que quiero comentar: “A pesar de que el electrón se acelera constantemente cuando se mueve en una de estas órbitas permitidas, no radia energía electromagnética. Entonces, su energía total permanece constante” (Eisberg y Resnick, 1978, p. 130).

Esa intuición rebelde, que contraviene las reglas de la filosofía natural de Newton con una afirmación lacónica, sin ninguna justificación, lo llevó, en 1913, a derivar, a través de un simple y lógico procedimiento matemático, la misma fórmula con la que Johannes Rydberg perfeccionó la que había sintetizado Johann Balmer en 1885, para predecir las componentes de la luz emitida por una lámpara de hidrógeno conocidas como el espectro de emisión del hidrógeno: un átomo planetario de un electrón que puede saltar de una órbita a otra daba lugar, de manera exacta, a ese espectro de emisión que ya se había registrado en el visible y se conocía

como serie de Balmer, y también a otros espectros de luz no visible (en el infrarrojo y el ultravioleta) que fueron descubiertos experimentalmente al poco tiempo de ser predichos por la intuición de Bohr. ¡Una ley física establecida por postulados nacidos de un acto de rebeldía! Qué tan cerca nos hemos mantenido de Atenea: “y llamó al ancho cielo con su claro grito de guerra. Y Urano tembló al oírlo, y la Madre Gea...”. Y después de todo, ¿no es hermosa acaso la visión intuitiva de que lo que son las colosales galaxias lo son también los minúsculos átomos? ¿No son acaso las dunas que mueve el viento del inconmensurable Sahara pequeños granos de arena que ninguna mano puede apresar?

### Y ¡abur! señor, ¡abur! Y hasta otra vista

Mi apreciado Jorge Alberto:

No se agota aquí la lista de ejemplos. Esperemos sí que sean suficientes para comprender el mensaje del profundo valor de la intuición en ciencias, particularmente en física, hermosamente sintetizado en el proverbio latino *Pulchritudo splendor veritatis*, porque aquello que es cierto lo es porque es bello y una visión intuitivo-matemática en ciencias, como lo hemos mostrado en física, no es tan absolutamente maravillosa como para ser solo poética.

Y ¡abur Jorge Alberto! ¡Abur! Y hasta otra vista.

### Referencias

- Abott, B. P. et al. (2016). Observation of gravitational waves from a binary black hole merger. *Physical Review Letters*, 116(6).
- Atenea (2020). *Wikipedia, la enciclopedia libre*. <https://es.wikipedia.org/wiki/Atenea>
- Bolondi, G. y D'Amore, B. (2011). *La matemática no sirve para nada. Provocaciones y respuestas para entender más*. Ediciones B.

- Castaneda, C. (2012). *Las enseñanzas de Don Juan*. Fondo de Cultura Económica.
- De Broglie, L. (1956). *Nouvelles perspectives en microphysique*. Michel Albin.
- DEEL – Diccionario Etimológico Español en Línea (s. f.). <http://etimologias.dechile.net/>
- Demócrito (2020). *Wikipedia, la enciclopedia libre*. <https://es.wikipedia.org/wiki/Dem%C3%B3crito>
- Descartes, R. (1637). *Discours de la méthode*. L'Imprimerie de Ian Maire.
- Dmitri Mendeléyev (2020). *Wikipedia, la enciclopedia libre*. [https://es.wikipedia.org/wiki/Dmitri\\_Mendel%C3%A9yev](https://es.wikipedia.org/wiki/Dmitri_Mendel%C3%A9yev)
- Eddington, A. S. (1959). *Space, time and gravitation*. Harper & Row.
- Einstein, A., Podolsky, B. y Rosen, N. (1935). Can quantum-mechanical description of physical reality be considered complete? *Physical Review*, (47), 777-780.
- Eisberg, R. y Resnick, R. (1978). *Física cuántica*. Limusa.
- Galilei, G. (1623). *Il saggiatore*. S. e.
- Grimaldo, F. M. (1665). *Physico-methesis de lumine. Coloribus et iride*. Opus Posthumum.
- Heisenberg, W. (1974). *Más allá de la física*. Biblioteca de Autores Cristianos.
- Heisenberg, W. (1975). *Diálogos sobre la física atómica*. Biblioteca de Autores Cristianos.
- Homero (2006). *La iliada*. Gredos.

Huygens, Ch. (2005). *Treatise on light*. The Project Gutenberg e-book #14765.

Lederman, L. y Hill, C. T. (2006). *La simetría y la belleza del universo*. Tusquets Editores.

Martínez, C. (2009). *Hipatia*. La Esfera de los Libros.

Maxwell, J. C. (1865). A dynamical theory of the electromagnetic field. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, (155), 459-512.

Newton, I. (2011). *Principios matemáticos de la filosofía natural*. Alianza Editorial.

Parménides de Elea (2020). *Wikipedia, la enciclopedia libre*. [https://es.wikipedia.org/wiki/Parm%C3%A9nides\\_de\\_Elea](https://es.wikipedia.org/wiki/Parm%C3%A9nides_de_Elea)

Todorov, T. y Ducrot, O. (1983). *Diccionario enciclopédico de las ciencias del lenguaje*. Siglo XXI.

Wilber, K. (Ed.) (2013). *Cuestiones cuánticas*. Kairós.