

A propósito de la intuición en ciencias naturales

Román Eduardo Castañeda Sepúlveda

(Colombia, 1956-v.)

Físico y Magíster en Física de la Universidad de Antioquia. Doctor en Ciencias Naturales 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. Autor de un libro, varios capítulos y más de cien artículos. Acreedor de los premios Obra Integral de un Científico, de la Academia de Ciencias, y Una Vida Dedicada a la Investigación, de la Alcaldía de Medellín.



Resumen

En esta reflexión se propone que, en ciencias naturales, particularmente en física, las matemáticas, más allá de ser un código de leyes y una herramienta de cálculo, son el soporte de la intuición del científico, un aspecto indispensable para la construcción de la noción de realidad en el contexto de la disciplina, así como para su socialización en las comunidades científicas. Este significado de la intuición se diferencia del psicoemocional, y su fascinante rol en física se ejemplifica con eventos históricos cruciales.

Palabras clave

Estética, fenómenos físicos, intuición científica, matemáticas, realidad

Introducción

Las ciencias naturales, en particular la física, sufrieron una transformación sin precedentes en el siglo xx, 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 (Watson, 2013). Nunca 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 (a veces desesperadamente) en el conocimiento científico, muy a pesar de las recurrentes desaprobaciones de los líderes de algunas naciones.

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 (véanse las “Reglas para filosofar”, Newton, 2011). No obstante, la historia del conocimiento científico 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.

En esta reflexión nos enfocaremos en las rutas en las que la intuición es o ha sido fundamental, no solo por su interés histórico, sino también por su proyección hacia el futuro. La intuición es una facultad compleja cuyas facetas van desde lo coloquial-cotidiano (pálpito, corazonada, presentimiento) hasta lo puramente espiritual (visión beatífica). No obstante, todas ellas tienen en común la capacidad de comprensión sin apoyo directo en el razonamiento lógico y la evidencia o validez de la verdad por la percepción. La palabra “intuición” tiene raíz en el verbo *intueri* del latín medieval, que significa mantener la vista fija, contemplar, ver con absoluta claridad. Dicho 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. El significado de la desinencia se aplica en palabras como “tutor” y “tutela”. Por lo tanto, la “experiencia interior” mediada por la percepción parece ser la médula de la intuición, lo que hace de esta facultad una característica puramente individual: el sujeto de la intuición es el individuo. Este aspecto

parece involucrar significativamente la estructura psicoemocional de las personas; quizá por ello las diferentes escuelas de psicología se han ocupado del entendimiento de la intuición.

Aunque no hay duda de que tal estructura individual pone su sello en los aportes de cada científico al conocimiento, se prescinde de sus peculiaridades en el producto final ya establecido y socializado. La profunda intuición de Dmitri Mendeléyev lo llevó a construir la tabla periódica de los elementos a partir de regularidades que le hicieron reservar sitios vacíos para elementos no conocidos en su época, y también, a corregir datos experimentales sobre elementos recién descubiertos (Calvo, 2019). No obstante, su intuición no nos resulta evidente ni necesaria cuando usamos la tabla periódica en un análisis químico. Lo mismo ocurre en múltiples campos de las ciencias naturales, en los que conocimientos cruciales fueron logrados durante estados psicoemocionales particulares que potenciaron la intuición de sus investigadores. Podría decirse, entonces, que la intuición psicoemocional de los investigadores no marca el conocimiento científico que aportan, a pesar de ser un elemento definitivo en su producción. En consecuencia, los estudiosos y usuarios posteriores no requieren esas experiencias intuitivas para apropiarse del conocimiento. El interés en este tipo de intuición, que anima a psicólogos y biógrafos, no se extiende a las comunidades científicas o tecnológicas.

Sin embargo, hay un tipo de intuición que sí establece mojones y articulaciones importantes en la estructura del conocimiento científico, momentos indispensables para impulsar sus avances; una intuición que no gravita en lo psicoemocional sino en lo intelectual. Este tipo de intuición es el que motiva la presente reflexión.

Pulchritudo splendor veritatis

Atenea, llamada también Palas Atenea y Atenea Partenos (Atenea la virgen), en cuyo honor se erigió el templo más prominente de la Acrópolis en Atenas, es la diosa griega olímpica de la sabiduría, la estrategia,

la civilización, las artes y la guerra, la justicia y la habilidad. 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...”, como cantara Píndaro en sus *Olimpicas* (Wells, 2010). Su corazón fue inaccesible al amor, quizá por un particular equilibrio entre lo masculino y lo femenino de su carácter, y por ello rechazó matrimonio, consortes y amantes, aun a pesar de haber participado en un célebre concurso de belleza que hizo detonar la Guerra de Troya.

Más allá de los relatos míticos, la figura de Atenea es un elocuente símbolo con muchos de los elementos que atribuimos a la ciencia y a los científicos: la racionalidad propia de haber nacido de la frente de Zeus, la frialdad emocional y el sentido de justicia necesarios para conocer y acatar con rigor las leyes que rigen el conocimiento, la disposición a la lucha con estrategia, tan afín a lo que llamamos método científico... y su grito de guerra, quizá anunciando su voluntad de saber y de aprehender, haciendo temblar las potencias del cosmos representadas en los dioses del cielo y de la tierra.

El aspecto de esa representación de la sabiduría que parece no encajar en nuestro estereotipo es haberla encarnado en un hermoso cuerpo femenino que, aunque incapaz de seducir (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 esa belleza que la puso al lado de Hera y de Afrodita frente a la decisión que Paris reveló con aquella manzana de la discordia (Ovidio, 1994). Hoy en día aceptamos la belleza del conocimiento como una consecuencia revelada en el producto terminado. Sin embargo, la figura de Palas Atenea propone la belleza como soporte de la sabiduría, sentido confirmado en el proverbio latino *Pulchritudo splendor veritatis* (La belleza es el resplandor de la verdad) (Wilber y De Casso, 1987) que Werner Heisenberg, Premio Nobel de Física, cita para lanzar una provocadora y provocativa idea: lo que es cierto es bello, y es cierto porque es

bello. Esta sentencia pone el sentido estético al mismo nivel de importancia, frente al conocimiento, que la lógica.

Cada dios tiene su avatar, su encarnación mortal, como lo fue Aquiles de Ares en Troya. Sócrates de Alejandría, el Escolástico, se refirió a quien pudo ser la encarnación de Atenea Partenos (Casado, 2006):

Había una mujer en Alejandría que se llamaba Hipatia, hija del filósofo Teón, quien logró tales conocimientos en literatura y ciencia, que sobrepasó por mucho a todos los filósofos de su propio tiempo. Una vez aceptada en la escuela de Platón y Plotino, explicaba los principios de la filosofía a sus oyentes, muchos de los cuales venían de lejos para recibir su instrucción (p. 39).

No se dispone de retratos de época de Hipatia, pero podemos imaginar la belleza de su presencia y la de su poderoso intelecto. Hipatia, virgen sin consorte ni descendencia, no solo desató la admiración de los neoplatónicos, sino también la furia de los cristianos de su natal Alejandría que, al parecer, terminaron asesinandola en una de las desastrosas representaciones de la supuesta confrontación entre ciencia y fe (Martínez, 2009).

La belleza a la que se refiere el proverbio latino tiene, no obstante, otra dimensión fascinante, más abstracta y etérea, puesta de manifiesto en una sentencia de Wislawa Szymborska, Premio Nobel de Literatura (Bolondi y D'Amore, 2011): “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).

¿Por qué entonces, la noción de que lo cierto es bello, y es cierto porque es bello, resulta a la vez provocadora y provocativa? En primera instancia, porque el sentido de lo estético es profundamente individual y perceptivo. Como lo señala su raíz griega originaria, *aesthesis*, se refiere a lo que conocemos por la piel y, por tanto, al

saber que nos depara una cierta dimensión del placer y del dolor. Demócrito de Abdera, padre del atomismo, apodado “el filósofo sonriente”, promovía la alegría como un valor espiritual: “la risa torna sabio” decía, y sentenciaba que se deben afrontar los retos con alegría. Sin embargo, esto 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. El proverbio latino parece apuntar en una dirección diferente.

En el capítulo 9 de *Il Saggiatore*, Galileo Galilei (1981) escribió:

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 geométricas sin las cuales es imposible entender una sola palabra; sin ellos es como girar vanamente en un oscuro laberinto (p. 63).

Esta sentencia amplía en mucho la parca inscripción que Platón puso en el frontispicio de la Academia hacia 388 a. de C.: “No entre aquí quien no sepa geometría”. Un aspecto particularmente llamativo es su 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 participando el tacto y aún el olfato. Para quienes aman los libros como objetos, la lectura comienza acunando el ejemplar, sintiendo la textura de su pasta, las dimensiones de su formato, la calidad de su papel, disfrutando de la diagramación, del tipo de grafía y su disposición en la página. Alimentarse del contenido viene después, como disfrute del menú servido. Pero la lectura no parece terminar ahí: la aspiración de muchos autores (y según Galileo, la naturaleza no parece sustraerse a ello) es que la lectura haga finalmente al libro; que el lector ponga en él lo que el libro le inspira. Como afirmó sir Arthur Stanley Eddington (1920): “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] (p. 182).

Quizá ese asombro estético, el placer de lectura del “libro del universo”, tácito en la cita de Galileo, deviene del conocimiento de la geometría, mientras que su ignorancia es una fuente de dolor, el vano girar en un oscuro laberinto. Podemos imaginar que Platón lo sabía mucho antes y por eso exigió conocer la geometría para disfrutar, en primera instancia, del placer que rodea a la comprensión de la filosofía.

Es oportuno aclarar que el rol conferido a los sentidos en la búsqueda de conocimiento no siempre atañe al placer y a la intuición perceptual. En el libro III de su *Philosophiæ Naturalis Principia Mathematica* (Newton, 2011), sir Isaac Newton enunció las *Regulae Philosophandi*, reglas de filosofía natural para avanzar en el conocimiento de la física:

- No se deben admitir otras causas que las necesarias para explicar los fenómenos.
- Los efectos del mismo género deben ser atribuidos siempre, en la medida en que sea posible, a la misma causa.
- Las cualidades de los cuerpos que no son susceptibles de aumento ni disminución y que pertenecen a todos los cuerpos sobre los cuales se pueden hacer experimentos, deben ser miradas como pertenecientes a todos los cuerpos en general.
- En la filosofía experimental, las proposiciones obtenidas por inducción de los fenómenos deben ser miradas, a pesar de las hipótesis contrarias, como exacta o aproximadamente verdaderas, hasta que algunos otros fenómenos las confirmen enteramente o hagan ver que están sujetas a excepciones.

La participación de los sentidos es evidente en estas reglas, particularmente en la última que se refiere a la experimentación como única fuente confiable

de certeza científica. En contraste, tal componente sensorial no es estética sino lógica y está gobernada por las primeras reglas. La extensión de nuestros sentidos mediante los instrumentos experimentales es controlada metódicamente por la lógica, de manera que sea permitido 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. ¿Sería esto un reflejo de puritanismo inglés en Newton?

Otra es la ruta que conduce de los sentidos al conocimiento por medio de la intuición, ruta sugerida en la cita de Galileo a la que Heisenberg (1975) contribuyó afirmando:

“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. 418).

Aunque el término “simetría” se formaliza como un atributo de objetos matemáticos, ya sean cuerpos geométricos o funciones algebraicas, su origen es sensorial y su valor es estético. La comprensión lógica del término en un contexto dado parece estar en segundo lugar, o, al menos, estar muy mediada por el placer o displacer que nos pueda causar su primera visión. Por esto, resulta sorprendente (e incluso provocador) que, en esta cita, Heisenberg no haya usado el término para describir el estímulo de la reacción sensorial de un espectador, sino para indicar una facultad de la naturaleza, una fuente de la realidad. ¿Fue acaso esa convicción la que lo llevó a contemplar el proverbio latino al que nos referimos antes: aquello que ¿es cierto porque es bello? Esa consonancia entre la “simetría” como facultad de la naturaleza y nuestra sensibilidad estética hacia ella es el camino que nos permite acceder a la comprensión última de la realidad del cosmos al modo que propusiera Galileo.

La lógica estimulada por la estética parece despertar la intuición en ciencias naturales, poniendo en operación el “sexto sentido” de percepción de los científicos para asegurar la comprensión plena de su conocimiento. Debe subrayarse que esa dimensión de la intuición no es de carácter psicoemocional sino intelectual, lo que la hace susceptible de ser socializada. Tal perspectiva le da a la poética sentencia de Szymborska sobre el teorema de Pitágoras una dimensión epistemológica.

Intuición matemática

Aunque Albert Einstein no se convenció de que la realidad misma del universo se originara por una potencia abstracta y de carácter estético, en un bello artículo que publicó en 1935, con sus colaboradores Boris Podolsky y Nathan Rosen, nos da una clave importante sobre el “órgano sensorial” de esa dimensión de la intuición (Einstein *et al.*, 1935):

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 debe tener en cuenta la distinción entre la realidad objetiva, la que es independiente de cualquier teoría, y los conceptos con los cuales opera esta teoría. Se pretende hacer corresponder tales conceptos con la realidad objetiva y, es por medio de ellos, que construimos para nosotros una imagen de dicha realidad] (p. 777).

Llama la atención el uso de la palabra *picture* en la cita original, en inglés. 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, los autores utilizan esa palabra como un verbo de tipo reflexivo que describe la facultad intelectual de aproximarnos a la realidad de los

fenómenos físicos por medio de la sensación visual que se despierta cuando los relacionamos con los conceptos teóricos apropiados. Tenemos así un “ojo” intelectual para sentir esa realidad.

La elaboración de los conceptos con los que opera una teoría física es cosa de reglas de la lógica, como las reglas de filosofía natural de Newton ya mencionadas, los postulados de la geometría euclidiana, los axiomas algebraicos y las tablas de verdad booleanas. De ahí que pretender lograr una correspondencia entre conceptos y “realidad objetiva” para construirnos una “imagen visual” de esa realidad parece significar “ver” con las matemáticas los eventos experimentales. Desde esta perspectiva, la cita de EPR (Einstein, Podolsky y Rosen) poco dista de la de Galileo en *Il Saggiatore*.

Al parecer, Pitágoras, quien supuestamente acuñó el término “matemáticas”, también estaba cerca de esta concepción. Ese término nombra a la lógica como facultad de aprehender, es decir, la facultad de hacernos un cuadro visual propio de la realidad. Al igual que Heisenberg, Pitágoras estaba convencido que la esencia del cosmos era abstracta y la llamó “número”. No iremos más allá sobre esa noción originaria de número que en mucho difiere de la que hoy disponemos.

Es novedoso concebir las matemáticas como un “ojo” para intuir la realidad (el verbo “ver” es empleado en este contexto con el significado sensorial sugerido en el artículo de EPR, pero no atañe, por supuesto, al uso del sentido de la vista sino a la facultad de hacer correspondencias, es decir, a la intuición, cuyo significado y etimología fueron comentados arriba). Digamos que Heisenberg llegó a su sentencia sobre la simetría como facultad de la naturaleza a través de las matemáticas, y que Wolfgang Pauli, también Premio Nobel de Física, pudo referirse implícitamente a las matemáticas, de manera aún más provocadora, en una de sus pocas declaraciones sobre su visión filosófica de la física (Heisenberg, 1974):

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 tranquilamente y, con sus ideas, logre producir los cambios de este mundo (p. 37).

La asociación de las matemáticas con el término explícito “psique” en esta cita puede parecer arbitraria, toda vez que el significado de “psique” como alma o principio de la vida es mucho más amplio. Sin embargo, la vida de Pauli, uno de los físicos teóricos más brillantes del siglo xx y estudioso comprometido con la psicología al lado de Carl Gustav Jung, lleva a suponer que las matemáticas debieron hacer parte de su concepto de la psique. Además de este término, atraen la atención las referencias al “centro interior” de donde emerge la psique y al “algo automático” que permite la comprensión, términos cuyos significados literales son afines al de la intuición, comentado anteriormente. Esa enigmática descripción de Pauli pareciera sugerir que, si las matemáticas hacen parte de la psique, entonces no serían exactamente un invento del intelecto humano. Su notación y su axiomática serían, más bien, mecanismos mediante los cuales el intelecto se hace consciente de esa esencia matemática para que pueda “emerger del centro interior” y hacer que “el espíritu influya en este mundo”. Podría entonces percibirse que, en Pauli, la noción de intuición tiene dimensiones más profundas que las meramente abstractas de Pitágoras y de Heisenberg, alcanzando incluso una esfera espiritual, cercana quizá a la señalada por Parménides de Elea hace unos veinticinco siglos:

“El pensamiento y el ser se refieren a la misma cosa”.

Usualmente consideramos las matemáticas como un arte, a saber, una manera peculiar de escribir, de forma abreviada y precisa, ideas y aspectos de la realidad que son muy complejos; un mecanismo para hacer cálculos cuyos resultados describen con precisión ciertos aspectos de la realidad; un lenguaje para referirnos a la realidad. Siempre la precisión aparece como el atributo distintivo de las matemáticas, un atributo que indica su carácter de “lenguaje” libre de ambigüedades, re-

dundancias, incertidumbres y contradicciones internas. Esta noción, tan ampliamente difundida, y, por supuesto, cierta, resulta ingenua o al menos limitada frente a la dimensión de ojo intelectual que nos permite percibir la realidad en sus detalles más delicados; en ese sentido, nos permite intuirlo, es decir, no solo apreciar, sino también manejar su potencial estético, dando cumplimiento al proverbio latino referido en el apartado anterior.

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 es justamente las matemáticas. Incluso, muy probablemente no tendríamos física sin ese ojo. Ya Einstein (1985) había afirmado que “la Naturaleza es la realización de las ideas matemáticas más sencillas que cabe concebir” (p. 158).

Un ejemplo profundamente impactante de la intuición matemática fue reportado por James Clerk Maxwell en 1865. Maxwell tuvo una visión estética (en el sentido que estamos comentando) de implicaciones indelebles. Físico de especial talento, se impuso la tarea de organizar en un cuerpo teórico, que llamó electrodinámica, el conocimiento sobre electricidad y magnetismo acumulado hasta ese momento. Al escribir las leyes fundamentales del electromagnetismo, las cuales en notación moderna son

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

notó una asimetría en la grafía (en el siguiente análisis los significados matemáticos y físicos de estas expresiones son irrelevantes, solo se tendrá en cuenta su diseño gráfico; no obstante, los significados de sus símbolos se consignan en el apéndice al final

del texto): mientras el grafo $\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t}$ aparece asociado al símbolo $\nabla \times \mathbf{E}$, conformando una ley de la naturaleza (columna izquierda, inferior), ninguna de las leyes declara la situación simétrica, es decir, no aparece el grafo $\frac{\partial \mathbf{E}}{\partial t}$ asociado al símbolo $\nabla \times \mathbf{B}$. Por supuesto que no es solo un tema de diseño gráfico, pero, considerando que el formato de la escritura es, por excelencia, el empleado por los humanos para expresar y comunicar su consciencia de las matemáticas, la grafía de las leyes naturales es un elemento definitivo en la percepción estética de la naturaleza.

La ley $\nabla \times \mathbf{E} = -\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t}$, conocida como ley de inducción de Faraday, establece que ciertos campos magnéticos, simbolizados por la letra \mathbf{B} , pueden originar campos eléctricos, simbolizados por la letra \mathbf{E} . Esa ley permitió desarrollar los generadores eléctricos, las hidroeléctricas y los motores.

Sin ninguna otra razón diferente a su intuición intelectual, orientada por el convencimiento de la simetría de la naturaleza, Maxwell pareció suponer que los experimentos que permitieron la síntesis de las leyes del electromagnetismo no fueron suficientes para “ver” el grafo faltante, y ello muy a pesar de las reglas de filosofía natural de Newton. Decidió entonces buscarlo, pero no con un experimento, a pesar de ser el director del Laboratorio Cavendish de la Universidad de Cambridge y haber inventado la fotografía a color. Lo buscó con el ojo de las matemáticas. Con un razonamiento muy simple para físicos y matemáticos, habituados al uso de ese ojo, lo halló “ahí, al lado...” e introdujo la corrección para completar así la ley correspondiente:

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

¡Una ley natural que se completa por una visión estética! (columna derecha, inferior, conocida desde entonces como ley de Ampère-Maxwell). Esa ley modificada condujo al “ojo matemático” de Maxwell a una visión aún más maravillosa: la intuición de otro objeto de la naturaleza invisible para los experimentos de su época: las ondas electromagnéticas, entre ellas la luz (Maxwell, 1865). 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”.

Ejemplos similares abundan en la historia de la física. En 1818, Augustin-Jean Fresnel intuyó, a través de las matemáticas, que era posible producir oscuridad en un punto adicionándole luz. Esto no había sido reportado antes por ningún experimentador, por lo que el académico Simeon Poisson tildó la intuición de Fresnel como una afirmación contranatura. Fresnel, asociado con el académico François Arago, montó el dispositivo experimental que demostró la validez de su intuición. La visión estética de Fresnel despertó, en el 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 visión electromagnética de Maxwell: la concepción ondulatoria de la luz (Born y Wolf, 1999).

Un ejemplo inverso se produjo en 1900, demostrando que el conocimiento científico pleno se alcanza cuando las miradas de ambos ojos intelectuales, el lógico-experimental y el intuitivo-estético, están atentas. Tras medio siglo de experimentos, se había registrado con precisión la manera como un cuerpo emite luz al calentarse, pero los ojos teóricos disponibles para dar cuenta de esos resultados no pudieron “visualizarlos”. En efecto, la aplicación estricta de las leyes de la electrodinámica y los principios de la física estadística no condujeron a la predicción de los resultados experimentales, sino a una

catástrofe intelectual, designada hoy como “catástrofe de ultravioleta” (Eisberg y Resnick, 1978). Al no ser posible la correspondencia entre dichos conceptos fundamentales y la realidad objetiva, no se pudo construir una imagen de dicha realidad.

La ruta para superar semejante limitación sorprendió a toda la comunidad científica de la época, incluyendo a su propio autor, quien, sin embargo, mereció el Premio Nobel de Física por ello casi dos décadas después. Max Planck optó por “mirar” los resultados experimentales con su intuición matemática y determinar la función capaz de reproducir los datos. La halló. Sin embargo, se resistió a realizar la correspondencia entre la luz y su concepto más brillante: el *quantum* de energía electromagnética. Tuvo miedo de la incompatibilidad de esa correspondencia con la naturaleza ondulatoria atribuida a la luz y se obligó a pensar que, en el desierto intelectual que rodeaba tal fenómeno, estaba presenciando un espejismo y no entrando a un oasis real (Eisberg y Resnick, 1978). La historia de la época sugiere que Planck pudo sentir ilusoria la belleza de su visión intuitiva y para no dejarse engañar por el espejismo se refugió en la ingenuidad de considerar sus matemáticas solo un método de cálculo de la curva de mejor ajuste a los datos.

El miedo es uno de los oponentes principales (sino el mayor y más frecuente) al ejercicio de la intuición matemática en la construcción de las imágenes de la realidad física. “Un hombre con miedo no llega a ser un hombre de conocimiento”, sentenció un chamán de la comunidad yaqui en un popular texto de los años setenta (Castaneda, 1974). A menudo, el miedo nos lleva a pensar que las matemáticas son al conocimiento científico lo que el mundo de las hadas, los duendes y los elfos a la literatura: un universo maravilloso. Da la impresión de que Planck parece haber visto su *quantum* como un hada.

Cinco años después, Albert Einstein, de 26 años, fiel a su intuición matemática, supo que la visión de Planck no era maravillosa sino real: un aspecto de la realidad de la

luz que había escapado al ojo de Maxwell. Declaró sin ambages que la luz estaba hecha de *quantos* de energía electromagnética. Otros experimentos, como el efecto fotoeléctrico y, posteriormente, el efecto Compton, lo confirmaron. Sin ese conocimiento no tendríamos hoy de los dispositivos de nuestro paisaje tecnológico cotidiano (láseres, celulares, fotoceldas).

En 1924 el príncipe Louis-Víctor Pierre Raymond, séptimo duque de Broglie, siguió su visión estética de otra simetría de la naturaleza. Por Newton conocimos la física de las partículas que nos permitió visualizar el orden astronómico. Por Maxwell supimos que la luz es una onda electromagnética, y por Einstein que está compuesta de *quantos* de energía. Sin embargo, no había ninguna evidencia, ni teórica ni experimental, de que la materia fuera una onda. Pero De Broglie intuyó que si una onda luminosa puede comportarse como una partícula, entonces las partículas deberían poder comportarse como ondas. Y decidió buscar las evidencias de esta apreciación estética con su ojo de intuición matemática.

Las obtuvo provocando otros resultados sorprendentes: dos experimentos independientes, *a posteriori*, uno accidental, y el otro siguiendo las instrucciones lógicas de su visión. Con ello, en poco tiempo 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 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 poco después de recibir el Premio Nobel de Física renunció a ella (Eisberg y Resnick, 1978).

Otras visiones espectaculares del ojo de la intuición matemática que han antecedido a las del ojo experimental, mostrando que la experiencia estética puede ser un ingrediente fundamental de la reflexión lógica, son:

1. El bosón de Higgs, que da masa a los cuerpos que nos rodean. Hubo cuarenta años de distancia

entre su deducción matemática por Peter Higgs y el registro experimental de su existencia en el colisionador de partículas del CERN (sigla en francés de la Organización Europea para la Investigación Nuclear). Por fortuna, ese lapso de casi medio siglo no impidió que Higgs en persona fuera galardonado con el Premio Nobel de Física.

2. Las ondas gravitacionales que establecen las oscilaciones de una noción física compleja y difícil de aprehender: el espacio-tiempo. Einstein tuvo su visión intuitiva 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, el LIGO (sigla en inglés del Observatorio de Ondas Gravitacionales con Interferómetro Láser). Resulta fascinante que la intuición matemática de un científico movilice a una comunidad global en la búsqueda de sus evidencias objetivas. En efecto, la primera detección de ondas gravitacionales fue reportada en Abbott *et al.* (2016), un artículo de dieciséis páginas de las cuales tres son ocupadas por la lista de coautores y dos y media se destinaron a reseñar las entidades que apoyaron la empresa.

Estos ejemplos no agotan la lista, pero son suficientes para comprender el mensaje del proverbio latino *Pulchritudo splendor veritatis*, encarnado en la intuición matemática. En ciencias naturales, particularmente en física, una visión intuitivo-matemática nunca es demasiado maravillosa para ser solo poética, en el sentido de la clasificación de las funciones del lenguaje propuesta por el lingüista Tzvetan Todorov (1974).

A modo de conclusión

Es ampliamente aceptado que el conocimiento científico, particularmente de la física, es de naturaleza lógico-matemática. Desde esta perspectiva, las matemáticas desempeñan el rol de servir solo de códigos para las leyes de la naturaleza o de estrategia de cálculos precisos con fines de aplicaciones tecnológicas. Si bien el aspecto lógico-matemático del conocimiento científico es un distintivo indudable, quizá no sea el

primordial. La reflexión presentada en este artículo, con apoyo en el análisis de momentos históricos cruciales de la física, abre la discusión sobre un aspecto más profundo y novedoso: el rol de las matemáticas como “ojo” de la intuición en ciencias cuya “mirada” intelectual es indispensable para la comprensión plena de la realidad y para su socialización idónea. En este contexto, el término intuición se refiere a una facultad del individuo con significado fundamentalmente intelectual. Esta propuesta, lejos de constituir un producto acabado, es una reflexión en construcción y, por lo tanto, se espera que logre atraer las voces de otros miembros de la comunidad académica.

Apéndice: descripción de los símbolos en las ecuaciones de Maxwell

Tabla 1.1 Símbolos de las ecuaciones de Maxwell

E	Nombre técnico: campo eléctrico. Es el fenómeno físico asociado a la electricidad y puede observarse en la atracción o repulsión entre cuerpos cargados. Por ejemplo, el celofán que se queda pegado a los dedos o el cabello que se eriza al contacto con el peine son fenómenos electrostáticos.
B	Nombre técnico: campo magnético. Es el fenómeno físico asociado al magnetismo y puede observarse en la atracción o repulsión entre imanes.
ρ	Nombre técnico: densidad de carga eléctrica. La carga eléctrica es una propiedad de la materia, como la masa, que le permite a los cuerpos cargados interactuar eléctricamente. Un ejemplo común es la configuración de un átomo, con protones (carga positiva) en el núcleo y electrones (carga negativa) orbitando alrededor del núcleo. La interacción eléctrica entre protones y electrones mantiene a estos últimos en las órbitas atómicas.
J	Nombre técnico: densidad de corriente eléctrica. La corriente eléctrica está conformada por cargas eléctricas en movimiento. La corriente eléctrica que fluye en cables eléctricos son electrones que se mueven dentro del cable.
$\epsilon_0 \mu_0$	Nombres técnicos: permitividad eléctrica y permeabilidad magnética del vacío. Hasta finales del siglo XIX los físicos estaban convencidos de que el cosmos entero estaba lleno por una “sustancia” inconmensurable llamada éter desde tiempos aristotélicos. Para la época de Maxwell, se le habían atribuido propiedades eléctricas y magnéticas representadas por estas cantidades, y se le llamó “éter luminífero”. Maxwell afirmó que la luz eran las ondulaciones de ese medio que todo lo llenaba. A inicios del siglo XX fue primero Henri Poincaré y después Albert Einstein quienes promulgaron que el éter era una noción innecesaria en física. Desde entonces, se sabe que la luz no requiere de ningún medio material para propagarse y las propiedades del éter le fueron conferidas al vacío.
$\nabla \cdot$ $\nabla \times$	Nombres técnicos: divergencia (arriba) y rotacional (abajo). Los dos signos de cada símbolo, triángulo y punto para la divergencia, triángulo y cruz para el rotacional, son importantes para designar las operaciones matemáticas que determinan la evolución espacial de la cantidad sobre la que operan. Tales cantidades, como los campos eléctrico y magnético, tienen magnitud como también dirección u orientación en el espacio, por lo que se requiere de ambas operaciones para dar cuenta exhaustivamente de su evolución espacial.
$\frac{\partial}{\partial t}$	Nombre técnico: primera derivada temporal. Este símbolo representa la operación matemática que determina la evolución temporal de la cantidad a la que se le aplica.

Fuente: elaboración propia.

Referencias

- Abbott, B. P. *et al.* (2016). Observation of gravitational waves from a binary black hole merger. *Physical Review Letters*, 116.
- Bolondi, G. y D'Amore, B. (2011). *La matemática no sirve para nada*. Ediciones B.
- Born, M. y Wolf, E. (1999). *Principles of optics*. Cambridge University Press.
- Calvo, M. (2019). *Construyendo la tabla periódica*. Prames.
- Casado, M. J. (2006). *Las damas del laboratorio: mujeres científicas en la historia*. Debate.
- Castaneda, C. (1974). *Las enseñanzas de don Juan*. Fondo de Cultura Económica.
- Eddington, A. (1920). *Space, time and gravitation: An outline of the general relativity theory*. Cambridge University Press.
- Einstein, A. (1985). *Mi visión del mundo*. Tusquets.
- Einstein, A., Podolsky, B. y Rosen, N. (1935). Can quantum-mechanical description of physical reality be considered complete? *Physical Review Journals Archive*, 47(10), 777-780.
- Eisberg, R. y Resnick, R. (1978). *Física cuántica*. Limusa.
- Galilei, G. ([1623] 1960). The assayer. En G. Galilei, H. Grassi, M. Guiducci y J. Kepler, *The controversy on the comets of 1618* (págs. 151-336). University of Pennsylvania Press.
- Galilei, G. (1981). *El ensayador*. Aguilar.
- Hawking, S. (2002). *A hombros de gigantes, los grandes textos de la física y la astronomía*. Running Press.
- Heisenberg, W. (1974). *Más allá de la física*. Biblioteca de Autores Cristianos.
- Heisenberg, W. (1975). *Diálogos sobre la física atómica*. Biblioteca de Autores Cristianos.
- 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.
- Ovidio (1994). *Cartas de las heroínas; Ibis*. Gredos.
- Todorov, T. (1974). *Diccionario enciclopédico de las ciencias del lenguaje*. Siglo XXI.
- Watson, P. (2013). *Ideas: historia intelectual de la humanidad*. Crítica.
- Wells, J. B. (2010). *Pindar's verbal art: An ethnographic study of epinician style*. Center for Hellenic Studies.
- Wilber, K. y De Casso, P. (1987). *Cuestiones cuánticas: escritos místicos de los físicos más famosos del mundo*. Kairós.