

Mecánica cuántica en la cultura

Alberto C. de la Torre¹
UNMDP - ANSES

Resumen

Se analizan varios lazos que relacionan las artes y humanidades con la ciencia; en especial, con la mecánica cuántica. Se explica el asombro que esta ciencia produce por la inadecuación de la intuición clásica. El origen cuántico de la pérdida de las certezas y de la individualidad es presentado y se resalta la complementariedad. Se ilustran varias consecuencias de la autorreferencia.

Palabras clave: intuición; mecánica cuántica; indeterminación; individualidad; autorreferencia

Abstract

The relations between arts, humanities and science, in particular, quantum mechanics, are analyzed. The inadequacy of intuition to explain quantum reality is explained. The quantum origin of the loss of certainties and individuality is presented and complementarity is highlighted. Several cases of self-reference are shown.

Keywords: Intuition; quantum mechanics; indeterminacy; individuality; self-reference.

Por qué y para qué todo esto

¿Qué aporte puede hacer un físico en una revista de «cultura y literatura»? El autor de esta nota no es solamente físico, es además zurdo, activista ateo, viejo (o mejor, joven de 82 años), aficionado al pensamiento, a las letras y las artes, amante de los buenos vinos, ciclista, y muchas otras cosas más. Este eclecticismo (otra vez tuvo que buscar el significado exacto de la palabrita) habilita a cualquiera a hablar de cualquier cosa.

Las ciencias, la física en particular, son parte integrante de la cultura junto con las letras, las artes, la filosofía y todas las humanidades. De hecho, estuvieron juntas hasta el Renacimiento y por motivos varios se separaron en desmedro de la cultura global.

¹ Nacido en Córdoba, Argentina, en 1944. Estudios primarios y secundarios en Bélgica y Argentina. Se ha desempeñado como estudiante, docente e investigador de física en siete universidades americanas y europeas. Su producción académica está plasmada en cerca de cien publicaciones y cinco libros. Es jubilado como Profesor Emérito de la Universidad Nacional de Mar del Plata y como investigador del CONICET. Correo electrónico: delatorre@mdp.edu.ar

Felizmente para los nostálgicos, quedan muchos lazos y puntos de contacto entre ellas que permiten una enriquecedora interacción; se nutren mutuamente y brindan ejemplos y metáforas que ayudan al entendimiento. Se expondrán aquí entonces algunas ideas de cultura general que relacionan las ciencias, las artes, la filosofía y las letras, pero con un sesgo hacia la formación del autor: la mecánica cuántica, que es la única disciplina en la que él puede pretender cierta autoridad; sobre todo el resto, es apenas *amateur*. Es deseo del autor aportar algunos pocos conocimientos de física a los humanistas para enfrentar una aberración cultural: se considera inculta a una persona que ignora lo que hizo Shakespeare o Mozart o van Gogh, pero no a quien ignora el aporte de Galileo o Maxwell, Boltzmann o Dirac. Un mayor conocimiento de física es una deuda cultural. Aquí, el humanista puede encontrar algunos conocimientos de mecánica cuántica.

Intuición clásica

Desde nuestro nacimiento, los seres humanos hemos desarrollado nuestra intuición física, o sea la expectativa sobre la evolución o comportamiento de las cosas, a través de la interacción con un gran número de sistemas físicos que son percibidos por nuestros sentidos. La intuición ha sido *educada* por la experiencia con esos sistemas físicos. Para la descripción rigurosa y precisa del comportamiento de esos sistemas, se desarrollaron, a partir del siglo XVII, teorías físicas, tales como la mecánica, la electrodinámica y otras, llamadas *clásicas*, que a fines del siglo XIX adquirieron un potente y riguroso formalismo matemático. Hay aquí autorreferencia: los sistemas físicos clásicos desarrollaron la intuición clásica que fue formalizada por teorías clásicas que describían correctamente los sistemas clásicos. La coherencia autorreferencial no es garantía de verdad, pero el éxito fue total, al punto que se pensaba que se había llegado al fin de la física. Todo se podía explicar... excepto un par de problemitas que se resistían. De estos problemitas

surgieron las dos grandes revoluciones físicas del siglo XX: la relatividad y la mecánica cuántica.

Cuando se comenzaron a estudiar sistemas físicos muy lejanos de nuestra percepción sensorial, aparecieron problemas: las teorías físicas clásicas fracasaron rotundamente cuando se las aplicó a sistemas con velocidades cercanas a la de la luz o sistemas muy pequeños y sutiles como las moléculas, los átomos y las partículas subatómicas. Las nuevas teorías resultaron ser anti-intuitivas, asombrosas y difíciles de aceptar, pero la evidencia empírica fue abrumadora. La relatividad y la mecánica cuántica fueron confirmadas en todas sus predicciones. La intuición y las teorías clásicas se transformaron en útiles y buenas *aproximaciones*, pero la realidad es cuántica y relativista a pesar de las dificultades que tenemos para entender estas teorías anti-intuitivas. El espacio y el tiempo se contraen y se dilatan para diferentes observadores en movimiento. Eventos simultáneos para uno dejan de serlo para otros. Los átomos y las partículas no tienen posiciones ni velocidades exactas y pueden estar en diferentes estados simultáneamente. Estos sistemas físicos no obedecen a nuestra intuición y expectativas; su comportamiento nos asombra. En verdad, es al revés: es nuestra intuición la que no obedece a la realidad. Hemos desarrollado la intuición y la expectativa mediante el contacto con muchos sistemas físicos que se mueven a velocidades pequeñas que percibimos con nuestros sentidos, tienen extensión y energía comparables con las nuestras, pero en la realidad existen gran cantidad de sistemas físicos muy tenues y pequeños, o que se mueven a velocidades vertiginosas, que no han participado en la formación de nuestras expectativas e intuición. No tenemos derecho a exigir que nuestra intuición haga predicciones correctas referidas al comportamiento de estos sistemas que no han participado para nada en su gestación. Para ver cuán lejanos están estos sistemas de nuestra percepción, consideremos que los efectos relativistas aparecen a velocidades

cercanas a la de un pulso de luz que en un segundo (tiempo comparable a un latido de nuestro corazón) hace un recorrido mayor que siete veces la vuelta al mundo. Los átomos son tan pequeños, o sea que en un volumen dado el número de átomos es tan grande, que se puede estimar que en un vaso de agua hay muchos miles de moléculas que han pertenecido a la orina de Demócrito (o de cualquier otro suficientemente antiguo).

La mecánica cuántica no sólo describe características asombrosas de la realidad microscópica, sino también brinda algunas nuevas ideas relevantes para el ser humano cuando son extrapoladas del mundo físico microscópico al cultural humano. En particular, entre otras conmociones, la mecánica cuántica nos lleva a la pérdida de las certezas, derrumba nuestro mito del ser individual y unifica perspectivas incompatibles. Veremos en esta nota estas contribuciones que la física cuántica hace a las humanidades.

Indeterminación e incerteza

El *estado* de un sistema físico, clásico o no, está determinado por el valor que asumen sus observables; por ejemplo, su posición, velocidad, energía, movimiento, rotación, etc. Una novedad de la mecánica cuántica es que, además del valor de los observables, se debe considerar que dicho valor está afectado por una inevitable incerteza, variación, imprecisión, indeterminación, inseguridad o error, que le quita exactitud al valor. Los múltiples nombres presentados indican múltiples interpretaciones de la teoría. ¿Cuál es la naturaleza de esas inevitables imprecisiones? A grandes rasgos, podemos considerar dos posibilidades: que las imprecisiones en el valor de los observables sean de naturaleza *gnoseológica* u *ontológica* (podemos designar esto como “el dilema de Einstein”). Para explicar este dilema, pensemos, por ejemplo, en el observable de posición de una partícula. Decimos que la falta de exactitud en la posición es *gnoseológica* si proponemos que la partícula sí tiene posición exacta pero no podemos saber cuál es; la teoría no

permite calcularla con exactitud. La certeza es un atributo del conocimiento y por eso usamos la denominación de *incerteza o incertidumbre* para designar la inexactitud en la posición. Por el contrario, en la interpretación ontológica se afirma que la partícula no tiene posición exacta, sino que es difusa por naturaleza: no es un problema de mi conocimiento, sino que la partícula misma está distribuida en muchas posiciones, no está localizada. En este caso, elegimos el término de *indeterminación* en la posición. El dilema ha sido ampliamente discutido y hoy la opción ontológica es preferida por la mayoría de los expertos en los fundamentos de la mecánica cuántica.

Si la existencia de indeterminaciones es asombrosa, más lo es el hecho de que existen correlaciones entre las indeterminaciones de diferentes observables. La más famosa de estas correlaciones es el conocido *principio de incertidumbre* de Heisenberg, que establece que si modifico un sistema para hacer más pequeña la indeterminación en un observable, esto obligatoriamente hace más grande la correspondiente indeterminación de otro observable. Por ejemplo, se puede lograr indeterminación muy pequeña en la posición de una partícula, pero a costa de hacer muy grande la indeterminación en su velocidad; y viceversa, gran exactitud en la velocidad genera gran indeterminación en la posición.

En la realidad física se ha perdido la exactitud en el valor de sus observables, que se han hecho difusos e impredecibles. Si la realidad física ha perdido las certezas, ¿qué queda para el ser humano? La mecánica cuántica nos obliga a ser muy modestos y dudosos en relación con nuestras certezas. En este contexto, podemos revalorizar la duda sistemática introducida por Descartes como consecuencia de las inevitables indeterminaciones. Desafortunadamente, Descartes arruinó su filosofía y en vez de aceptar las indeterminaciones como parte esencial de la ontología, apeló al comodín Dios para reinstalar las certezas. Si no lo hubiera hecho, se habría adelantado 300 años,

aceptando las incertezas que la mecánica cuántica descubriría en el siglo XX. El daño que la idea de Dios hizo a la filosofía de Descartes (y de otros) es evidente: debemos dudar de la existencia de un árbol que podemos ver, tocar, oler el perfume de sus flores y comer sus frutos, pero no podemos dudar de la existencia de Dios que nadie puede ver, ni oír, ni sentir, que no deja ninguna huella y no se manifiesta de ninguna manera. Un precio muy alto para introducir certezas.

La individualidad perdida

En todas las cosas que percibimos, notamos que tienen muchas características circunstanciales, cambiantes, contingentes y también algunas que son esenciales en el ser de las cosas. Si observamos una piedra, por ejemplo, notamos que tiene cierta temperatura, forma, algunas rayaduras, posición, movimiento, etc., pero también pensamos que tiene algo permanente que la diferencia de todas las otras piedras: si dejamos de observarla unos segundos y luego la observamos nuevamente, nadie duda de que en la segunda observación se trata de la misma piedra observada anteriormente. Hay algo permanente en esa piedra que podemos designar como su *individualidad*. Ésta es permanente a pesar de los cambios en temperatura, posición, y todas las otras propiedades contingentes. Este núcleo duro de su ser permite identificarlo y diferenciarlo de todas las otras cosas similares: la individualidad permite asignarle una identidad, un nombre propio, un número de DNI (que debería llamarse Documento Nacional de *Individualidad*). Aplicado a los humanos, este núcleo duro del ser es identificado con la individualidad al punto de que el término «individuo» es sinónimo de «ser humano». El ser está constituido por la individualidad y por todas las circunstancias cambiantes que «visten» y afectan significativamente al individuo. Esta importante influencia está resaltada en la famosa frase de José Ortega y Gasset «Yo soy yo y mi circunstancia», o

sea, mi individualidad es fuertemente influenciada y afectada por todas las circunstancias vividas.

Después de haber presentado la individualidad como algo indudable, vamos a presentar argumentos físicos muy confiables que sugieren que la individualidad no existe, es una ilusión, un engaño, y que tampoco es necesaria. En la sección anterior, se vio que la mecánica cuántica con las indeterminaciones hace un aporte cultural a las humanidades que ha sido ampliamente divulgado. Ahora veremos otro aporte que es posiblemente más asombroso y relevante, pero casi desconocido: la pérdida de la individualidad. De acuerdo con esto, deberíamos modificar la frase de Ortega y Gasset a «Yo soy *solamente* mi circunstancia».

¿Por qué se elimina la individualidad en la mecánica cuántica? Es una consecuencia de las indeterminaciones. Consideremos por ejemplo dos partículas que están ubicadas muy cercanas. La indeterminación en sus posiciones puede ser comparable a su separación y las dos quedarán solapadas sin poder establecer cuál es cuál. Una supuesta permutación entre ellas, cambiando una por la otra, no tiene ningún efecto observable. Un sistema de partículas idénticas es invariante ante todas las posibles permutaciones entre ellas. Sencillamente, el estado del sistema no cambia para nada: las partículas no tienen individualidad porque, si la tuviesen, la permutación sería perceptible. Para sistemas físicos con un gran número de átomos, como un gas, existen cantidades físicas fácilmente medibles que dependen del número total de estados que puede tomar el sistema (por ejemplo, el calor específico, o la entropía). Si los átomos del gas tuviesen individualidad, el número de estados sería muy grande porque cada permutación implicaría diferentes estados. Si no existe la individualidad, el número de estados se reduce fuertemente. Los resultados experimentales son indudables: los átomos no tienen individualidad.

Ahora extrapolamos: si los átomos no tienen individualidad, las moléculas formadas por esos átomos tampoco la tienen. Lo mismo sucede con moléculas muy complejas, como el ADN, y con las células de la biología, los órganos, los animales... y el ser humano.

Algunos pueden sentirse desamparados al enterarse de que no hay nada que los haga esencialmente individuos únicos, pero, pensándolo bien, no hay motivos para creer que nos han quitado algo esencial: seguimos siendo únicos porque hemos tenido circunstancias diferentes a las de todo otro humano; nos diferenciamos por lo que hemos vivido. No hemos perdido nada valioso, sólo un mito, una ilusión irreal e infundada.

En las letras hay algunas alusiones a la individualidad. Posiblemente la más interesante está en el cuento de Julio Cortázar, “Lejana”, en el que dos mujeres, una en Budapest y otra en Buenos Aires, tienen sus individualidades enlazadas y se las permutan al cruzarse en un puente. Esta mezcla y permutación de individualidades también aparece en los cuentos “La noche boca arriba” y “Axolotl”.

Complementariedad

Hay en las acciones, en la realidad o en el pensamiento, numerosas situaciones en las que se presentan algunas opciones que se excluyen mutuamente. Pensemos, por ejemplo, en la dialéctica, en los antagonismos ideológicos, en las bifurcaciones de un camino, en las dicotomías (bien-mal, luz-tinieblas, verdad-falso, etc.), o típicamente, en las perspectivas con que puedo fotografiar un rostro (frente, perfil derecho, perfil izquierdo) y muchos otros casos. Es necesario, a veces, unificar las opciones incompatibles para lograr una descripción o entendimiento más profundo o más abstracto. Designamos *complementariedad* a esta unificación de incompatibles. Por ejemplo, podemos pensar que la realidad de un rostro se alcanza mediante la unificación complementaria de todas

las perspectivas que pueden captar las fotografías de ese rostro. Este concepto es de gran importancia en los fundamentos de la mecánica cuántica. *La realidad física es la unificación complementaria de todas las descripciones que la mecánica cuántica hace de ella.*

Para describir u observar a un sistema físico, elegimos algún o algunos observables y les asignamos valores exactos, o sea sin indeterminación. Pero esto impone, debido a las correlaciones mencionadas antes, una máxima indeterminación en algunos otros observables. Por ejemplo, si describo una partícula en una posición exacta, su velocidad queda totalmente indeterminada. O si hago una fotografía del perfil derecho de algún rostro, el perfil izquierdo queda totalmente oculto. Si cambio de perspectiva o de observables, las certezas anteriores se desvanecen y se hacen indeterminadas. Pero la realidad del rostro o del sistema físico no debe depender de mi opción. Por eso postulamos que la realidad consiste en la unificación complementaria de todas las posibles perspectivas. La complementariedad nos permite concebir la existencia filosófica de la realidad a pesar de las indeterminaciones cuánticas. La mecánica cuántica impone un concepto de realidad más complejo, sutil y abstracto que lo que nuestra intuición clásica sugiere.

El arte nos regala una descripción bellísima de la complementariedad: consideremos el cuadro de *Las Meninas*, pero no el de Velázquez, sino la maravillosa versión de Picasso. Observemos el rostro de Velázquez; aquí vemos el genial invento de Picasso donde están conciliadas las tres perspectivas: de frente, perfil derecho y perfil izquierdo. De esta manera, la representación del rostro que hace Picasso es mucho más fidedigna que cualquier fotografía que es condenada a optar por sólo una visión.

Hay una diferencia entre la complementariedad en la mecánica cuántica y en la pintura de Picasso: en el caso de Picasso, es un *invento*, mientras que en la mecánica

cuántica se trata de un *descubrimiento*. Para entender bien la diferencia, consideremos la teoría de la relatividad y la *Novena Sinfonía* de Beethoven: si Einstein no hubiese existido, la teoría de la relatividad hubiera aparecido en otro lugar y en otro tiempo, pero seguramente hubiera sido descubierta porque está en la naturaleza y sólo esperaba que alguien le quitara el velo, que la descubriera, mientras que si Beethoven no hubiese existido, la *Novena Sinfonía* no aparecería nunca. El arte inventa; la ciencia descubre.

Autorreferencia

Terminamos estas reflexiones sobre la ciencia y las humanidades mencionando un esquema teórico que se presenta en muchos ámbitos culturales: la autorreferencia. A diferencia de los casos anteriores, este tema no es específico de la mecánica cuántica ni de ninguna otra ciencia natural, sino que involucra a casi todas las disciplinas con mayor énfasis en la lógica matemática.

La literatura es casi siempre autorreferencial, a veces de manera clara y explícita. Por ejemplo, en *Don Quijote*, el cura menciona a un tal Miguel de Cervantes, autor de *La Galatea*, como su amigo, y el libro se salva de la hoguera porque «tiene algo de buena invención». Este tipo de autorreferencia se presenta en muchas obras literarias. Otra forma usual de autorreferencia en las letras es cuando escritores escriben cuentos y novelas donde los personajes centrales son escritores, o cuando cineastas hacen películas sobre cineastas. Este egocentrismo genera cierta molestia en quienes no son ni escritores ni cineastas: los dueños de la lapicera escriben sobre ellos. La forma inevitable de autorreferencia, que por supuesto no es criticable, y que justifica la afirmación de que la literatura es autorreferencial, es que sólo se puede escribir sobre lo que se sabe, lo que se intuye o se imagina, y esto proviene de las circunstancias vividas por el autor. Aun en la ficción más alejada de la realidad, la mente y la historia del autor inevitablemente ponen

su impronta y éste termina escribiendo sobre sí mismo: la literatura es autorreferencial y no puede no serlo.

Una de las más bellas manifestaciones de autorreferencia en el ámbito cultural del dibujo y pintura se presenta en el cuadro *Las Meninas*, de Velázquez. El lienzo, expuesto en el Museo del Prado, muestra a Velázquez pintando, pero ¿qué está pintando exactamente? Algunos proponen que está pintando a los Reyes, que se verían reflejados en un espejo al fondo. Esto es falso; si fuera correcto, de acuerdo con la leyes de la perspectiva y de la reflexión, que seguramente Velázquez no ignoraba, la imagen debería ser la mitad de lo que se muestra, comparado con la dimensión del personaje que entra, o sale, al lado del supuesto espejo. Lo que en realidad está pintando Velázquez es el acto de pintar, está *pintando la pintura* en una autorreferencia mucho más interesante y abstracta que un simple autorretrato.

Si pudiésemos entrar en el cuadro, como Alicia que pasa detrás del espejo, podríamos ver qué está pintando Velázquez, velado a los espectadores en El Prado. Después de saludar a los presentes, nos podríamos parar al lado de Velázquez y veríamos el cuadro que está pintando ¿Qué veríamos? El cuadro *Las Meninas*, casi el mismo que ven los turistas en El Prado, pero con una diferencia: Velázquez no tendría la cruz de la orden de Santiago que le fue otorgada años después de hacer el cuadro y que fue agregada en la pintura por otro pintor. Así queda perfecta la autorreferencia.

En los sistemas causales, la autorreferencia genera mecanismos fascinantes cuando los efectos modifican sus propias causas. Estas modificaciones pueden ser constructivas, acelerando o autosustentando los procesos, o negativas, aniquilándolos. La representación matemática de procesos, donde los efectos modifican las causas, se logra mediante ecuaciones diferenciales. En física, una de las más bellas manifestaciones de este mecanismo se presenta en las ecuaciones de Maxwell, que describe el fenómeno del

electromagnetismo. Aquí los campos magnéticos variables son causa o fuente para los campos eléctricos; a su vez, estos campos eléctricos variables son causa para los magnéticos. Así, se produce una danza causal en la que los campos eléctricos y magnéticos son causas mutuamente de sí mismos y existen de manera autosustentada. No requieren de un creador (connotación teológica).

En lógica, la autorreferencia puede cambiar las condiciones que determinan la verdad o falsedad de proposiciones, dependiendo de sus conclusiones: el efecto modifica la causa. Se pueden así inventar gran número de paradojas, tales como la “paradoja del ahorcado”, o la de “los cretenses que siempre mienten”, o de los “catálogos de libros que se contienen a sí mismos”, etc. La lista es casi interminable y se recomienda acudir al oráculo de internet para divertirse y ejercitar la capacidad de pensamiento riguroso. Muchas veces estas paradojas se resuelven acudiendo a un formalismo matemático inambiguo o a sistemas lógicos superiores, pero a veces ponen de manifiesto serias dificultades en los sistemas de pensamiento. El paroxismo de las consecuencias de la autorreferencia en la lógica se alcanza con el teorema de Gödel. Este teorema tuvo grandes consecuencias y dio por tierra con el proyecto de Hilbert de axiomatizar rigurosamente todo el pensamiento humano: el santo Grial del racionalismo.

La demostración de este teorema exige una minuciosa preparación en lógica matemática que no podemos exponer aquí, pero sí podemos presentar el núcleo esencial del teorema en forma coloquial; por lo tanto, se puede tomar esta presentación como prueba no rigurosa del teorema. El teorema dice: “Todo sistema de pensamiento que no sea contradictorio es incompleto”. Analicemos primero el significado de sus términos: un sistema de pensamiento es contradictorio cuando puede demostrar que cierto enunciado es verdadero y también puede demostrar que es falso. Por supuesto, nadie quiere tener un sistema que sea contradictorio, porque con un poco de trabajo se puede propagar la más

mínima contradicción a todas las afirmaciones, con el resultado de que la totalidad del sistema será verdadero y también será falso. Que no sea contradictorio es lo mínimo que debemos exigir a un sistema de pensamiento. Un sistema es incompleto cuando existe al menos una proposición *que es verdadera* pero que no se puede demostrar dentro del sistema: algo le falta.

Demostremos ahora el teorema: en el sistema de pensamiento hay numerosas proposiciones o enunciados que designamos con los símbolos P, Q, \dots (con esto estamos siendo sólo un poquito menos coloquiales) que pueden ser verdaderas o falsas, pero fundamentalmente deben pertenecer al sistema, ser inambiguas y estar bien formuladas. Consideremos el enunciado, que designamos con P : *no se puede demostrar la proposición Q* . Aquí, Q puede ser cualquier enunciado del sistema de pensamiento. En particular, P se pone interesante si hacemos autorreferencia, igualando $Q=P$. Entonces estamos afirmando que *no se puede demostrar que esta proposición no se puede demostrar*. Resumimos:

$$P = \text{no se puede demostrar } Q$$

$$Q=P$$

$$P = \text{no se puede demostrar } P.$$

Debemos ahora considerar las dos posibilidades: que el enunciado P sea verdadero o falso. Si es falso, entonces su negación es verdadera y caemos en una contradicción: *sí se puede demostrar que no se puede demostrar*. Ya vimos que nadie quiere un sistema contradictorio, por lo tanto nos quedamos con la opción de que el enunciado es verdadero. Entonces existe una afirmación verdadera que no se puede demostrar: el sistema es incompleto. Esta demostración del teorema a nivel coloquial capta la esencia del teorema que Gödel demostró usando un formalismo matemático riguroso, preciso y sin las ambigüedades inevitables en el lenguaje coloquial. Existe, sin embargo, una posible

escapatoria al límite impuesto por el teorema; mencionamos que hay sólo dos posibilidades para una proposición: verdadera o falsa, pero se puede pensar en sistemas de pensamiento con más de dos posibilidades (lógicas multivaluadas) que podrían modificar el teorema.

Conclusión

Además y por encima de todo lo que hemos visto, todas las ciencias, artes y humanidades comparten un elemento que las hace en cierta forma inseparables. No se trata de algún esquema mental o similitud estructural o relación metafórica; es algo mucho más profundo: es la fascinación que producen. Cuando contemplamos una obra de arte imponente, o escuchamos cierta música desgarradora, o leemos un texto o poema absorbente, o entendemos una ley de la naturaleza, o comprendemos un teorema matemático, en todos esos casos nos sentimos transportados a un mundo fascinante. Es una vivencia indescriptible que supera toda otra experiencia, nos cautiva y nos separa de todo. Es el grito interno y silencioso de “¡Eureka!”. Todo esto le da un valor infinito a la vida intelectual.