

## Intrusiones cuánticas en educación

Quantum Intrusions in Education  
Intrusão quantum educação

J. Jairo Giraldo Gallo

J. Jairo Giraldo Gallo<sup>1</sup>

1. Doctor en Física Teórica de la Universidad de Gotemburgo (Suecia), docente desde hace 46 años de la Universidad Nacional de Colombia, profesor titular de la misma universidad desde hace 25, ha mantenido durante la última década un curso de contexto que se ofrece a todos los programas de la Sede Bogotá denominado “Cuántica para todos y para todo”; fundador y presidente de la Corporación Buinaima; secretario de la Academia Colombiana de Pedagogía y Educación; correo electrónico: presidencia@corporacionbuinaima.org o jjgiraldog@unal.edu.co

Fecha de recepción: 24 de febrero de 2017 / fecha de aceptación: 24 de mayo de 2017

### Resumen

La palabra *quantum* es una alegoría tomada del latín. A partir de 1900, cuando fue empleada por primera vez en física, la idea tomó cuerpo y después de un cuarto de siglo dio lugar a la teoría más fundamental de las ciencias naturales. El presente texto busca convencer al lector de que el término, trasladado al ámbito educativo, puede tener efectos igualmente revolucionarios, más allá de aquellos que son obvios, derivados de las aplicaciones de esa teoría en las TIC (tecnologías de la información y la comunicación).

**Palabras clave:** *Quantum, fotones, electrones, tecnologías, disrupciones, información, educación.*

### Summary

The word quantum is an allegory taken from Latin. From 1900, when it was first used in physics, the idea took shape and after a quarter of a century gave rise to the most fundamental theory of the natural sciences. This article seeks to convince the reader that the term, transferred to education, can have equally revolutionary effects, beyond those obvious, derived from the applications of this theory in ICT (information and communication technologies)

**Key words:** *Quantum, photons, electrons, technologies, disruptions, information, education.*

### Resumo

A palavra *quântica* é uma alegoria retirado Latina. Desde 1900, quando foi usado pela primeira vez em física, a idéia tomou forma e depois de um quarto de século levou à teoria mais fundamental das ciências naturais. Este artigo procura convencer o leitor de que o termo, transferido para o campo da educação, pode igualmente efeitos revolucionários além daqueles que são óbvias aplicação derivados desta teoria em ICT (informação e tecnologia de comunicações).

**Palavras chave:** *Quantum, fótons, elétrons, as tecnologias, as interrupções, informação, educação.*

## Punto de partida

La construcción de la teoría cuántica fue un juego de audacia; mentes jóvenes, críticas y rebeldes la diseñaron en poco más de dos décadas, echando por la borda las concepciones mecanicistas clásicas. La tesis que se sostendrá es que los cambios en las ciencias de la educación han ido demasiado lentos, si se les compara con los nuevos paradigmas en las ciencias naturales y los avances tecnológicos, propiciados esencialmente por los conceptos cuánticos.

Tal vez viendo los recientes logros en la física, la astronomía, la biología, la genética molecular y las neurociencias, sea posible tomarles como referente para estimular un salto cualitativo en la pedagogía y la educación, un salto cuántico, como dicen los políticos cuando prometen y no cumplen, un cambio revolucionario que se hace cada vez más indispensable en la medida en que aumentan las crisis de todo tipo, en los terrenos ambiental, económico, ecológico, político, ético y social, por mencionar solo algunos campos. El ansiado desarrollo humano, reducido por la economía de mercado al PIB (producto interno bruto), no ha estado acompañado de otros ingredientes fundamentales: equidad, diversidad, sustentabilidad, integralidad, entre otros. Parte de la solución podría encontrarse en un nuevo paradigma educativo.

## Introducción desde la física o “filosofía natural”

De ante mano, disculpe el lector por el tecnicismo de algunos términos que encontrará en las tres primeras secciones; ellas servirán de modelos disruptivos. Aunque entender la terminología no es indispensable, para facilitar la lectura se ha incorporado un glosario en las notas y, también por simplicidad, se ha evitado al máximo el uso de referencias; las pocas suministradas permiten encontrar una amplia bibliografía.

El modelo de la caída de los cuerpos propuesto por Aristóteles, e impuesto por su autoridad, le sobrevivió dos milenios; la teoría de gravitación de Newton dio al traste con él, pero solo tuvo validez durante tres siglos, hoy ha sido substituida por una tesis más completa, compleja y profunda, que da cuenta de la materia y la energía, deberíamos decir materia-energía, y del espacio-tiempo.

Las cosas ocurren más o menos así: la materia-energía, que crea el espacio-tiempo a medida que el universo se expande, le dice a aquel cómo curvarse; y el espacio-tiempo curvado, una curvatura

en el espacio tetra-dimensional, le dice a la materia-energía cómo moverse bajo la nueva curvatura. En su movimiento actualizado, ella curva nuevamente el espacio-tiempo, y así continuará hasta el “fin de los tiempos”, como narra el Apocalipsis, como podría describirlo un poeta, un escritor con grandes recursos imaginativos y literarios, o como probablemente lleguemos a predecirlo con una teoría más completa que todavía no aparece. La visión mecanicista del mundo no da para tanto.

Hay un problema en la llamada Teoría General de Relatividad: la otra teoría, la Teoría Cuántica, es en algunos aspectos más completa que la propuesta por Einstein. Téngase en cuenta que el premio Nobel dado al *genio entre genios* se le otorgó por su contribución al primer campo, el cuántico, cuando explicó de pasada (no era ese su propósito) el efecto fotoeléctrico. Con ese trabajo fundó el pilar fundamental de la nueva teoría cuántica.

Dicho más claramente: la teoría general de la gravitación, como se denomina a la relatividad general, no incorpora los extraños fenómenos predichos por la mecánica cuántica, lo cuales, resumidos en los principios fundamentales, han sido comprobados a nivel experimental. La interferometría más precisa y las espectrometrías más finas que se pueden utilizar hoy, justamente como resultado de las aplicaciones de la fenomenología cuántica, han permitido comprobar en un laboratorio, el LIGO (*Laser Interferometer Gravitational-Wave Observatory*), algo que el padre de la relatividad dudó que pudiera verificarse: las ondas gravitacionales. Sin embargo, el problema serio de su gran teoría subsiste: la gravedad cuántica no ha sido formulada en forma consistente. Es por eso que no sabemos todavía *el fin* de la historia del universo.

Los párrafos anteriores tienen dos propósitos: 1) Ilustrar en palabras el ingenio y la imaginación del *gran genio, creador de universos*; si se examina con atención, esas características podrían y deberían cultivarse desde la primera infancia; 2) Subrayar que la física cuántica, más joven que la relatividad, es la gran teoría de la física, o mejor, de la ciencia, siendo a la vez la gran ausente en la mayoría de los planes de estudio. Para remediar esto último se puede recurrir a los MOOC (*Massive Online Open Courses*).

Desde que surgió la física cuántica pudo utilizarse el término química cuántica, pues los fenómenos o procesos que se dan en los átomos y a nivel molecular tienen ese carácter: son cuánticos. Hoy se habla también de biología cuántica en revistas científicas prestigiosas; algunos han llegado al extremo de emplear el término *medicina cuántica* sin saber muy bien lo que significa, habrá que tener cuidado con esa terminología, porque asociada a ella se introducen concepciones equivocadas que suelen denominarse

*pseudociencia*. Aunque el número de libros de divulgación de la mal llamada mecánica cuántica es cada vez más abundante, al lado de éstos aparece literatura pseudocientífica que vende mucho más, más que la divulgación científica de todo género.

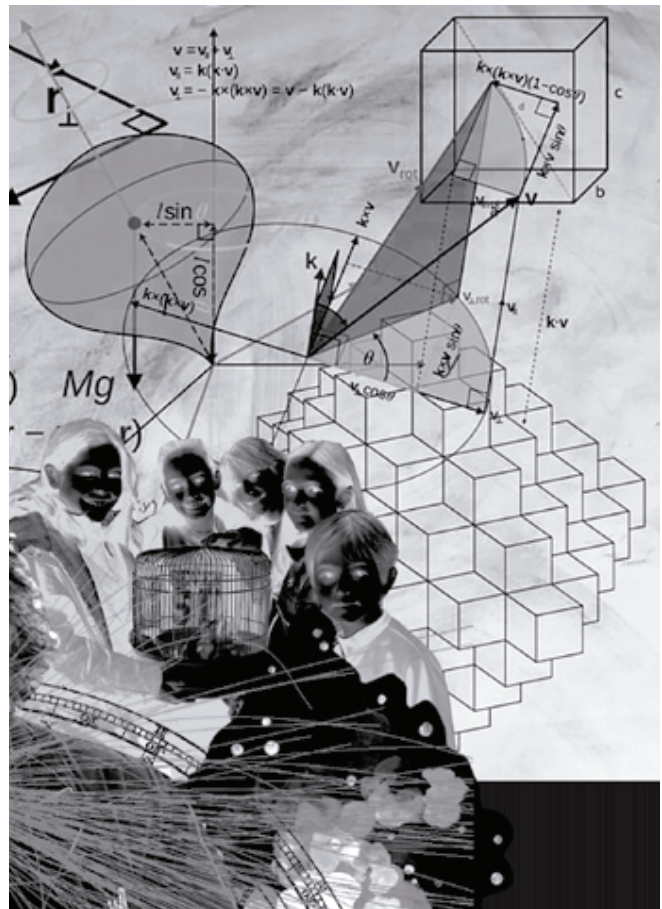
Vale la pena mencionar que en la primera mitad del siglo pasado y hasta bien avanzada su segunda parte, la cantidad de literatura popular, divulgativa o introductoria en el tema de la relatividad era muy superior a la que se dedicaba a la cuántica. Ahora ocurre al revés, pero no basta. Hay que enseñar de verdad y sin deformaciones los conceptos cuánticos, ojalá desde los primeros años de la educación básica.

## Introducción desde la tecnología

Si se utilizó la expresión “intrusiones cuánticas” en el título de esta contribución al tema de innovaciones disruptivas en educación, es porque los responsables de la planeación educativa parecen no querer más invitados: suelen sentirse satisfechos con lo que hay. Piensan algunos, por ejemplo, que puede seguirse enseñando la ciencia sin abrir espacio a los conceptos cuánticos, omitiendo la evidencia de que las aplicaciones de la teoría cuántica mueven cerca del 50% del PIB de los países avanzados, que invierten grandes esfuerzos y recursos durante la formación básica, al menos en la *high school* o como la denominen, a la enseñanza de la mal llamada nanotecnología<sup>2</sup>. Hacen bien, porque es el *paradigma tecnológico* del momento, pero hacen mal, porque el fundamento de la nanotecnología es la teoría cuántica. Habría que empezar por allí.

Gracias a la mecánica cuántica los tubos de vacío, diodos y triodos de comienzos del siglo pasado fueron rápidamente reemplazados por diodos semiconductores y transistores cada vez más versátiles y más pequeños. En un comienzo fueron de germanio, después la litografía permitió fabricar semiconductores de diverso tipo: binarios, terciarios y cuaternarios. El rey de los semiconductores fue inicialmente el silicio, y en gran medida lo sigue siendo. Silicon Valley seguirá dando mucho de qué hablar, aunque el silicio ya no sea el material dominante.

En forma similar se han creado por todo el mundo cientos de centros que promueven la innovación y el emprendimiento, asociados con parques científicos y tecnológicos que echan mano de las nuevas tecnologías de la información y la comunicación (TIC) con una concepción diferente, divergente si se quiere, ingeniosa,



creativa y disruptiva de la educación, podrían surgir en todo el planeta no solo valles de silicio, sino *montañas de oro* en donde la materia prima sean los TIC: talento, ingenio y creatividad, *oro puro*.

2 Nanotecnología es un término de moda. La mayor parte de sus desarrollos están en gestación, son asuntos de futuro; algunos pertenecen todavía a lo que debería llamarse nanociencia. Al igual que otros autores, sugiero el término más amplio de *nanotecnociencia* para referirse a uno y otro campo, el de las investigaciones básicas y el de las aplicaciones tecnológicas, particularmente cuando la situación es un híbrido, cuando se trata de un *producto* que todavía está en el laboratorio. En general, nanotecnociencia es el estudio y aplicación de materiales que tienen al menos una de sus dimensiones en la región de los nanómetros, es decir, unas decenas o centenas de millonésimas de metro. El comportamiento de la materia en esa escala exhibe fenómenos cuánticos, una de las características o propiedades que hace tan atractivo el campo.

En América Latina deberían hacerse esfuerzos por impulsar verdaderos parques de talento, ingenio y creatividad en todas las regiones, no solo en las grandes ciudades; pasaríamos así del simple consumo de TIC a su desarrollo, como debería ser, no invirtiendo las prioridades, como está ocurriendo, para lograr un adelanto económico que sea a la vez humano, integral, equitativo y sustentable (Giraldo, 2017a).

De paso, podríamos aprovechar lo bueno de las TIC para lograr un *cambio mental* que, a pesar de los atrasos, se está dando sin que lo percibamos. El cambio negativo en la estructura mental causado por las TIC es también una amenaza, no solo el cambio climático es nocivo (Greenfield, 2015), aunque de este último al menos estamos advertidos. Al tiempo, podríamos evitar los efectos perversos si el énfasis se pusiera en una educación de excelencia que tuviera en cuenta la ética y la ecología, *etbos del cuidado*, y otros factores como los indicados, que adecúen el escenario de la escuela a los nuevos retos.

Hoy los transistores son tan chicos que no se puede asociar a ellos la palabra semiconductores, ni se deben relacionar necesariamente con el silicio o el germanio; aquellos y otros dispositivos de la industria optoelectrónica pueden hacerse cada vez en mayor escala de materiales amigables con el ambiente. Lo mismo vale para los diodos, el diodo emisor de luz, LED, *light emitting diode*, antes hecho de semiconductores, hoy se fabrica principalmente de materiales sintéticos. Se habla de transistores de un electrón, se puede manipular la luz *fotón por fotón*, y eso es parte de los avances en nanotecnología, un término más preciso que el de nanotecnología a secas (Giraldo, 2017a).

## Empezar otra vez por el comienzo: los cuanta

Volvamos a los *quanta* o cuantos. El término lo introdujo Planck para referirse a las cantidades discretas de energía que absorbe o emite un cuerpo negro en equilibrio térmico. Einstein lo aplicó a las partículas de luz, los fotones<sup>3</sup>. Así, aceptemos que los sentidos son el punto de partida del aprendizaje, en la medida en que es a través de ellos que nos llega la información del mundo exterior. Mucha de esa información, procesada principalmente en el cerebro, se convierte en aprendizaje, en conocimiento. El papel de los cuantos en ese proceso de transformación es muy grande. Vamos a ilustrarlo.

Está fuera de toda duda el papel que juega la luz en las tareas educativas. Téngase presente que la luz está cuantizada: está hecha de fotones. Los electrones, cuantos de materia con masa dos mil veces menor que la de los protones, son responsables de la mayor parte de lo que equívocamente se ha denominado *flujo eléctrico*. Los procesos cognitivos, afectivos, emocionales, etc., que ocurren en el cerebro son provocados por corrientes electroquímicas también cuantizadas, procesos más fundamentales que se dan en la sinapsis, en los que participan electrones, iones, neurotransmisores y neuroreceptores.

Si se observara atentamente, todo lo que les llega a los sentidos se vería cuantizado. Para la visión, *fotón*, para el sonido, *fonón*; la percepción de los olores está acompañada de tunelamiento cuántico y algo similar ocurre con el gusto<sup>4</sup>. Entre los más finos

3 Si bien *quanta* en latín significa “cuantos”, el término se asocia con *ladrillos elementales o granos básicos*. En últimas éstos vinieron a ser los fotones, granos o corpúsculos de luz, como los denominó inicialmente Einstein (energía presente en la radiación electromagnética). Ello dio lugar a lo que originalmente se denominó Mecánica Cuántica, o, de manera más general, la Teoría Cuántica. Su origen se remonta al 14 de diciembre de 1900, cuando Max Planck anunció en su famosa conferencia ante la Sociedad de Física alemana, lo que denominó “desesperada hipótesis” de *cuantización de la energía*. Vale la pena resaltar dos fenómenos o comportamientos puramente cuánticos, a saber, superposición y entrelazamiento. De acuerdo con el primero, un objeto cuántico se manifiesta como onda o como partícula dependiendo del tipo de observación que se realice y, mientras no se le detecte, se encuentra a la vez en todos los estados que le son permitidos. La famosa *Paradoja del gato de Schrödinger*, vivo y muerto a la vez, es la mejor ilustración o caricatura que se puede dar de ese fenómeno. Para la computación cuántica ese fenómeno es clave, porque permite que el canal esté abierto y cerrado al mismo tiempo. El segundo fenómeno conduce a la no localidad de algunos fenómenos cuánticos; eso quiere decir básicamente que un estado cuántico se puede transportar instantáneamente sin que haya mediación temporal, de la Tierra a Marte o de una galaxia a otra. El teletransporte, la computación y la criptografía cuánticas son las aplicaciones más espeluznantes y a la vez maravillosas de la física cuántica. Hoy en día se ha introducido (y verificado) también el término de discordia cuántica, es decir, estados no locales que no necesariamente son estados entrelazados. Hay *observables* cuánticos (magnitudes, cantidades o características físicas) que no tienen un análogo clásico. El espín es el más relevante; representa lo que se denomina “*momentum* angular intrínseco” de un objeto cuántico. En el caso del electrón, se dice que vale  $1/2$  (en realidad  $1/2\hbar$ , donde  $\hbar = h/2\pi$  y  $h$  es la constante de Planck, también llamada *quantum de acción*). Véase nota 7.

4 El tunelamiento cuántico, consecuencia del Principio de Incertidumbre de Heisenberg, consiste en la posibilidad de que un objeto cuántico atraviese un obstáculo sin tener la energía necesaria para hacerlo. Es una especie de *salto cuántico*.

receptores de luz se encuentran las cianobacterias, y la eficiencia con que aprovechan su energía, cercana al 100% en algunos casos, es de naturaleza cuántica (Mohseni, *et al.*, 2014). Metafóricamente podría decirse que las plantas se copiaron de aquellas y, si se examina el asunto cuidadosamente, éstas no solo tendrían cinco sentidos sino muchos más (Mancuso y Viola, 2015).

Algunas plantas y muchas especies animales disponen de foto receptores, los *criptocromos*, sensibles al tipo de luz que reciban. En el caso de las mariposas monarca canadienses y los petirrojos nórdicos, están localizados en la vista y son responsables del mecanismo de una especie de compás *magneto-receptor*, un sentido adicional para orientarse en el campo magnético de la tierra cuando migran; su funcionamiento parece provenir del entrelazamiento cuántico de dos electrones al formarse pares radicales (Al-Khalili y McFadden, 2015).

Así como ocurre con algunas percepciones sensoriales, si no con todas, se ha especulado que en algunas actividades del cerebro puede haber efectos cuánticos. Su plasticidad no es más que la aparición de nuevas conexiones sinápticas y otras complicaciones de origen biológico a las que no nos referiremos por falta de espacio. Sirva lo anterior solo para enfatizar que los *quanta* están por todas partes. Aparecen y desaparecen, *se crean y se destruyen* literalmente hablando, se transforman. Para adelantarnos a las conclusiones, insistamos desde ya en este punto: conocer al menos los rudimentos del funcionamiento del cerebro debería ser de máximo interés para los educadores del futuro, un tema al que se le ha prestado poca atención en nuestro medio.

Sin embargo, este no es el espacio apropiado para ocuparnos de esos asuntos complejos<sup>5</sup>; en las siguientes secciones se intentará llevar al lector a *reflexionar sobre la educación*, la educación del futuro, tema central de esta nota. Empezaremos por las innovaciones tecnológicas aplicables a la transformación didáctica que introdujeron los cuantos (Giraldo, 2017a).

## Una mirada desde la pedagogía y la educación en el mundo contemporáneo

¿Cómo es posible que la teoría más consistente, precisa y completa de la ciencia no se mencione o apenas se alude a ella en la enseñanza básica y universitaria? Al menos en Colombia, donde hay consenso en que la educación está muy mal, los *gurús* del sector parecen ser de la opinión de que esos extraños conceptos

.....  
*...Para adelantarnos a las conclusiones, insistamos desde ya en este punto: conocer al menos los rudimentos del funcionamiento del cerebro debería ser de máximo interés para los educadores del futuro, un tema al que se le ha prestado poca atención en nuestro medio...*  
 .....

cuánticos deben estar por fuera del currículo escolar, si es que debemos aceptar la presencia obligatoria de un *currículo escolar*<sup>6</sup>.

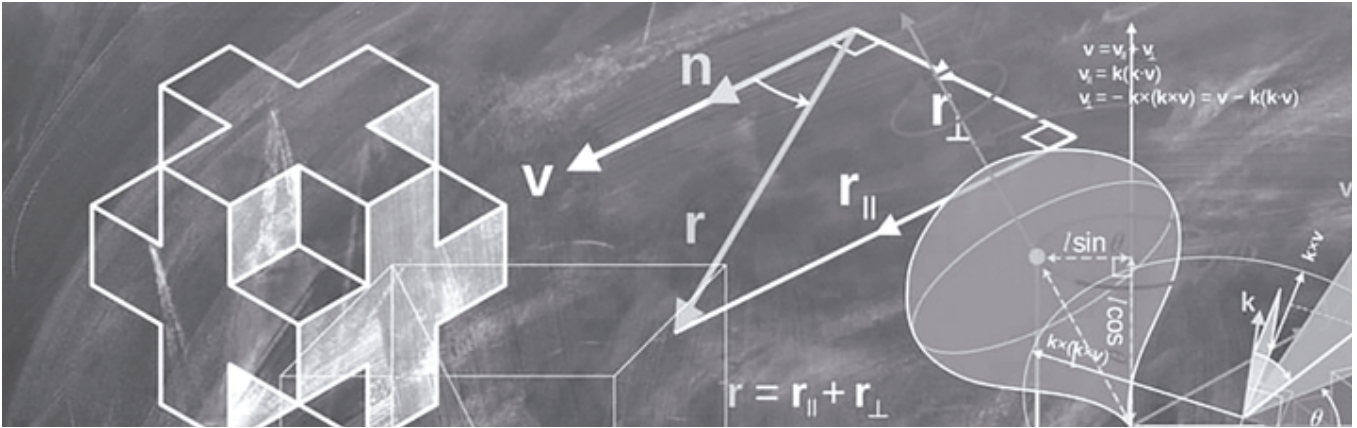
En este punto es importante señalar un profundo desacuerdo y para ello hay varias razones que se intentará exponer en el breve espacio que resta. No se trata simplemente de incluir la cuántica de alguna manera, porque se convertiría en *letra muerta*, como ocurre con las innumerables cátedras que cada día inventan los expertos. Eso no es lo que se busca al afirmar que los conceptos cuánticos deben incorporarse en la vivencia de los niños y de los jóvenes, aunque resulte muy complicado hacerlo para los mayores<sup>7</sup>.

Para empezar, sin ayuda de la mecánica cuántica hubiera sido imposible aprovechar las enormes ventajas que ofrecen los semiconductores, al ser empleados directa o indirectamente en millones de aplicaciones de todo tipo. Vino luego el láser o LASER, pues es un acrónimo (*light amplification by stimulated emission of radia-*

5 El autor del presente artículo está empeñado en llevar a la imprenta los primeros tomos de 2 colecciones en las que se intentan divulgar los conceptos cuánticos y la nanotecnociencia, sin tecnicismos matemáticos y sin recurrir a los sofisticados aparatos empleados en los laboratorios donde se produce ese conocimiento, que parte de la fenomenología cuántica. Véanse las referencias de Giraldo 2017a y 2017c; para conocer más sobre la iniciativa, es posible contactarlo por medio de sus correos electrónicos.

6 Sugata Mitra, bien conocido por *La Escuela en la Nube*, es partidario de que no haya currículo.

7 Una de las colecciones a que se hace alusión en la nota 5 se denomina *Quantum Sapiens*. El 4º volumen de esa colección, todavía en preparación, aborda el tema de la educación para el futuro, vale decir con innovaciones y disrupciones que se hacen, en opinión del autor, cada vez más urgentes.



tion: amplificación de la luz por emisión estimulada de radiación), equivocadamente denominado *rayo láser* por algunos, pues se trata de un delgado haz de fotones, cada uno con energía y *momentum* muy precisos: luz coherente. Su funcionamiento fue predicho por Einstein casi medio siglo antes de que pudiera ser diseñado y construido. Con él vinieron los CD, discos compactos, los DVD y muchos otros dispositivos opto-electrónicos tan indispensables en la vida moderna, muy útiles también en el aula de clase.

¿Y qué decir de los computadores? La ENIAC, uno de los primeros prototipos de hace apenas 70 años, pesaba 27 toneladas y tenía cerca de veinte mil tubos de vacío; era en realidad una modesta calculadora, comparada con las más sencillas del momento. Hoy en día podemos disponer en nuestro celular de un computador más versátil y veloz que nos permite a la vez utilizar, si nos dan permiso de acceso, los centros de cálculo más robustos del planeta. Sin la primera revolución cuántica nada de eso habría sido posible. Si se mira su primer impacto, la revolución en la comunicación fue en gran medida una verdadera revolución informático/educativa: el radio transistor, la nueva telefonía, las comunicaciones inalámbricas y muchas más desarrolladas en la segunda mitad del siglo XX, ayudadas por el computador, dieron lugar a lo que hemos abreviado como TIC<sup>8</sup>.

Digámoslo de una vez: la computación cuántica resolverá muchos problemas imposibles de solucionar con la clásica; pero más que este tipo de computador, todavía en el laboratorio, en general, lo que se denomina *procesamiento cuántico de la información* es lo que amerita llamar a la nueva era (no confundir con *New Age*), la era de la información, *la segunda revolución cuántica*. Aquello que algunos ven, sin analizarlo realmente, las sociedades del conocimiento.

El uso de los computadores en el aula, de los tableros inteligentes, de todo tipo de herramientas digitales (que con propiedad llamamos aulas digitales y virtuales), es fruto de esa primera revolución cuántica. La segunda apenas empieza: la inmensa mayoría de la población ni siquiera tiene conocimiento de su inicio, mucho menos del impacto que causará en las nuevas tecnologías, no solo de la información y la comunicación, usualmente denominadas TIC, sino en las que aún se desarrollan. Así, para el desarrollo del presente texto, estas, y las tecnologías que se utilicen para modernizar las herramientas didácticas, las seguiremos abreviando solo como TIC, ya que se tiene reservado el acrónimo TIC para un propósito más elevado de la educación y la pedagogía.

El E-learning, M-learning y otros aprendizajes no necesariamente presenciales han sido la respuesta a la obsolescencia de la educación (Hernández, *et al.*, 2012), también la *homeschooling*<sup>9</sup>. Es inocultable que el viejo estilo del maestro de tablero, aún siendo inmigrante digital, no puede mantener la escolaridad de los niños en el jardín o el preescolar, mucho menos de los adolescentes, y mucho peor para los educandos si se niega a migrar. La escuela no ha sido pensada para él; sin el nuevo maestro, que todavía no ha sido formado en nuestras facultades de educación, la causa de la renovación de la escuela está perdida.

8 Si bien las TIC se han hecho imprescindibles en su conjunto (muchos docentes creen que se reducen a un computador y un tablero digital), no deberían sustituir al verdadero maestro. En los casos en que lo logren ese docente puede sobrar. En otras palabras, cada vez el maestro debe sentirse en la obligación de superar a las TIC y esforzarse más por desarrollar en sus estudiantes los TIC (Talento, Ingenio y Creatividad).

9 Las *Home Schools* o el *homeschooling* fueron originalmente una respuesta conservadora a la educación no confesional. Hoy habrá que mirarla como una opción disruptiva a la conservadora escuela tradicional, si se permite el pleonismo.

Con ayuda de la digitalización facilitada por la mecánica cuántica en la construcción de equipos de todo tipo, hoy podemos disponer a costo razonable de microscopios y telescopios de gran versatilidad. No incorporarlos al aula de ciencias es una falencia que en la vida contemporánea no se debería aceptar. Esos y muchos otros aparatos de observación (microscopios electrónicos o atómicos, por ejemplo) pueden estar conectados a computadores y a otros recursos de aula que hubieran sido impensables hace algunas décadas. Prácticamente toda institución educativa podría darse el lujo de facilitar a sus estudiantes, en todos los niveles, herramientas de trabajo más eficaces, no solo microscopios (que no se ven por ninguna parte), sino impresoras 3D, que permiten producir artefactos en materiales reciclables y pueden ser diseñadas por los mismos alumnos si el aula (no la regular, por supuesto) lo facilita.

Lo que los niños y los adolescentes pueden reproducir, producir, diseñar, innovar, crear con ayuda de computadores, incluso de bajo costo, utilizando lenguajes creados para ellos, es inimaginable. El *scratch* puede servir de ejemplo<sup>10</sup>. De ahí al desarrollo de los TIC solo hay un paso: la potenciación y el desarrollo del Talento, el Ingenio y la Creatividad, tema al que volveremos enseguida, es lo que debe hacer la educación contemporánea. Ahora, si los instrumentos digitales, opto-electrónicos o simplemente electrónicos, son de enorme ayuda en el aula moderna, el acceso a la *Web* es un recurso todavía mayor, asequible y combinable con todos esos elementos. Es en gran medida la globalización del conocimiento, si se le sabe aprovechar.

Pero no nos detengamos en esas consideraciones, porque hay muchas más. Como diría Richard Feynman, premio Nobel reconocido por sus contribuciones a la teoría cuántica, refiriéndose a la nanotecnología cuando el término todavía no se empleaba: *hay mucho espacio en el fondo*. Si hemos hecho alusión a la primera revolución cuántica, es porque al menos hay ciertamente una segunda, y apenas empieza. Uno de los propósitos de esta nota es llamar la atención para que Colombia y América Latina no lleguen tarde a esa revolución, a ese conocimiento, a su acrecentamiento y adecuada utilización; si queremos superar nuestros problemas debemos reformular la educación.

## La educación del futuro

El campo de las ciencias de la cognición (y de la conducta) no es uno solo, sino muchos fuertemente interrelacionados. Así, deberían tenerse en cuenta por lo menos dos campos complementarios para imaginar la educación del futuro. Uno tiene que ver con los dispositivos para mejorar el desempeño (Kaku, 2015); el otro, con lo que sabemos sobre nuestro cerebro y nuestra mente

(Whitman y Kelleher, 2016). A pesar de su importancia, por ahora se dejarán de lado para limitarse a lo anunciado en el resumen, con la expectativa de ampliarlo próximamente (Giraldo, 2017b).

La idea es imaginar la educación como una mezcla de pasos “cuantizados” y continuos que dan lugar a procesos de pensamiento y de acción regulados por aquellos. En ciertos momentos se presenta una superposición de estados a los que en ocasiones acompañan efectos de entrelazamiento y de “tunelamiento”. Es así como emerge un cambio cualitativo, un *salto cuántico*, resultado de combinar los TIC y de saber utilizar las TIC. El ingenio es mucho más que innovación, es en gran parte imaginación, de la que disponen los niños en abundancia y a la que pone cortapisas la escuela tradicional. Leonardo imaginó que algún día se podría volar y se atrevió a dar los primeros “saltos”.

Una de las interpretaciones de la mecánica cuántica nos habla de los universos paralelos. Combinando los nuevos conceptos de entrelazamiento, multiverso y tunelamiento, uno podría imaginar un mundo muy complejo que puede asemejarse al que deberá afrontar la educación del futuro. La analogía va en dos direcciones: 1) Retomar la lógica cuántica para construir otra lógica, no la convencional, reconociendo que el pensamiento lineal no ha sido exitoso; 2) Valerse de esos avances científicos y tecnológicos para afrontar los nuevos retos. Vista de esta manera, la educación del futuro exige un balance delicado de actores y factores, de riesgos y oportunidades.

## Conclusiones

En el sector empresarial se acuñó el término “organizaciones que aprenden”. La escuela debería ser la primera en aprender. Se hace necesario un nuevo paradigma en las Ciencias de la Educación, que debería partir del moderno enfoque de las Neurociencias (Giraldo, 2014, 2017b), y las denominadas tecnologías emergentes, convergentes o disruptivas (en el terreno de lo básico, ellas son nanotecnología, biotecnología, infotecnología y cognotecnología, NBIC) podrían ayudar (Giraldo, 2017a). Ello se suma a un fenómeno cuántico fundamental que no se ha tratado y está en la base de las aplicaciones en la segunda revolución cuántica, la coherencia. La enseñanza que nos deja para la educación es la cooperación, el trabajo en equipo. Si el maestro ignora cómo funciona el cerebro del niño, debería al menos estar en condiciones de imaginarlo.

10 *Scratch* es una especie de lenguaje de máquina creado en M.I.T. (Massachusetts Institute of Technology), pensado inicialmente para diseñar juegos. Hoy en día es un “punto de partida” (podría decirse *from scratch*, desde cero) para avanzar a plataformas y lenguajes más avanzados y sofisticados, como *arduino*.



## Referencias

- Giraldo Gallo, J. (2014). Neuronanociencia y educación: un enfoque integrador para el aula. *Revista Internacional Magisterio*, No. 68, pp. 46-52.
- Giraldo Gallo, J. (2017a). ¿Nano... qué? ¡Nanorevolución! Bogotá: Ediciones Desde Abajo, Colección primeros pasos.
- Giraldo Gallo, J. (2017b). *Cerebro individual, conciencia colectiva*. Bogotá: Ediciones Buinaima.
- Giraldo Gallo, J. (2017c). *Quantum sapiens*. Vols. I, II, III y IV. Manuscrito en preparación.
- Greenfield, S. (2015). *Mind change*. New York: Random House.
- Hernández, J., Penessi, M., Sobrino, D., y Vásquez, A. (2012). *Tendencias emergentes en educación con TICs*. Barcelona: Creative Commons. Asociación Espiral, Educación y Tecnología.
- Kaku, M. (2015). *The future of the mind*. New York: Anchor Books.
- Mancuso, S., y Viola, A. (2015). *Brilliant Green. The surprising history and science of plant intelligence*. Washington: Island Press.
- McFadden J., y Al-Khalili, J. (2015). *Life on the edge: the coming of edge of quantum biology*. New York: Broadway Books.
- Mohseni, M. et al. (2014). *Quantum effects in biology*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Whitman, G., y Kelleher, I. (2016). *Neuroteach. Brain science and the future of education*. New York: Rowman & Littlefield.