



# GRAN INGENIERÍA DIMINUTA

**Por: Sergio A. Urquijo Morales \***

*Las películas futuristas nos impactan con dispositivos asombrosos: máquinas teletransportadoras, gafas que permiten ver lo oculto, rayos destructores... Estos ensueños comienzan a ser reales gracias a la investigación teórica con las herramientas de la física cuántica, que permiten conocer las propiedades fundamentales de la interacción entre luz y materia.*

*\*Periodista*



Una suspensión coloidal de puntos cuánticos, al ser irradiada con UV, emite luz de distintas longitudes de onda (colores) según el tamaño del punto o nanocrystal. Foto tomada de Wikimedia Commons.

Científicos e ingenieros comienzan hoy a mostrarnos que muchas locuras futuristas del cine no son ni tan locas ni tan futuras. Tenemos hologramas y láseres; se ha experimentado con la teletransportación de partículas y cada vez nos acercamos más a sueños como un computador de luz o un láser súper eficiente (que ojalá jamás sea usado para destruir planetas, ni ciudades, ni seres, como en algunas películas).

¿Cómo es posible todo esto? Pues gracias a la física cuántica y a los avances que permiten trabajar la materia y la energía a escalas nunca antes imaginadas.

Esta revolución comienza solo ahora porque hasta hace algunas décadas no era posible trabajar a esas escalas. “La tecnología de hoy permite llegar a dimensiones en las que las partículas se rigen por la mecánica cuántica”, comenta Carlos Duque, coordinador del grupo Materia Condensada, del Instituto de Física de la Universidad de Antioquia.

Para eso pongamos un pie en ese apasionante paisaje de átomos, partículas, ondas y comportamientos exóticos, para tratar de responder la gran pregunta: ¿qué es la cuántica?

### Lo más pequeño es lo más poderoso

Los espacios ínfimos en donde se desenvuelven los átomos y las partículas fundamentales fueron desconocidos, e incluso impensados, hasta finales del siglo XIX, cuando se probó que el

átomo está compuesto de partículas e interacciones que constituyen todo el universo.

En 1900 el alemán Max Planck, con su nombre de superhéroe y una mente brillante y dispuesta al cambio, probó que, a escala atómica, la radiación electromagnética (por ejemplo, luz visible, ondas de radio y rayos X) no se emite de forma continua, sino en paquetes de energía que él llamó cuantos. Es como si la radiación se entregara en billetes: si necesitas 4.560 pesos no puedes tener un billete de 2.313,647 pesos y otro de 2.246,353, ni de una fracción menor; necesitarás billetes y monedas concretos, y la mínima fracción será la moneda de 10 pesos. Así mismo, los átomos solo reciben y emiten energía en cuantos denominados fotones, que además se comportan al tiempo como onda y partícula... En fin. Continuemos.

El comportamiento de la energía y de las partículas diminutas es extraño a nuestro sentido común. Entre otras cosas, no tienen la continuidad a la que estamos acostumbrados en la vida cotidiana: para llegar de la alcoba a la puerta de la casa tenemos que recorrer todos los puntos intermedios, mientras que una partícula simplemente sale de un nivel de energía y aparece en otro. Así, hay muchas otras diferencias

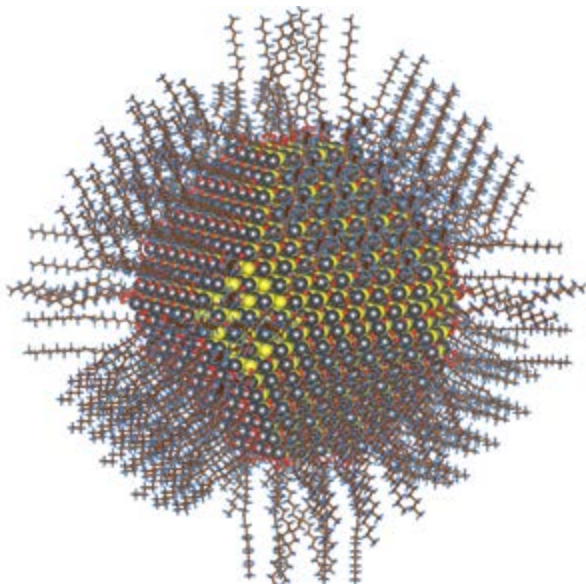
entre lo ínfimo y lo macro.

---

**La investigación teórica en física parece futurista, y realmente lo es: va a una velocidad mayor que la experimental y predice cosas que aún no se han desarrollado**

---

Lo que al inicio era como un cuento fantástico se fue corroborando experimentalmente poco a poco. En los años 20, una serie de mentes poderosas en



Este cristal diminuto de sulfido de plomo (II) (PbS) es un punto cuántico, una organización de átomos confinados en tres dimensiones construido con ingeniería cuántica: Tomado de Zherebetsky et al., Science 344, 1380 (2014)

## Una nueva revolución cuántica

“La física de la primera mitad del siglo XX encuentra su gran aplicación a finales del siglo XX, y con ella ya estamos construyendo objetos en escala atómica, objetos cuánticos”, explica el profesor Carlos Duque Echeverri.

¿Objetos cuánticos? Detengámonos en ese punto. Un electrón está encerrado tridimensionalmente por las barreras de potencial, un límite eléctrico entre átomos que solo puede traspasar si alcanza cierta energía. Si un investigador junta varios átomos, al controlar esas barreras puede definir si el arreglo formará un punto, o una línea de átomos, o una estructura de dimensión más amplia. [Figura: punto cuántico y barreras de potencial].

“Un punto cuántico es un arreglo de 5.000 o 10.000 átomos confinados en las tres direcciones. En un hilo cuántico el electrón se puede mover en una dirección, y en un pozo cuántico, en dos direcciones”, complementa el investigador.

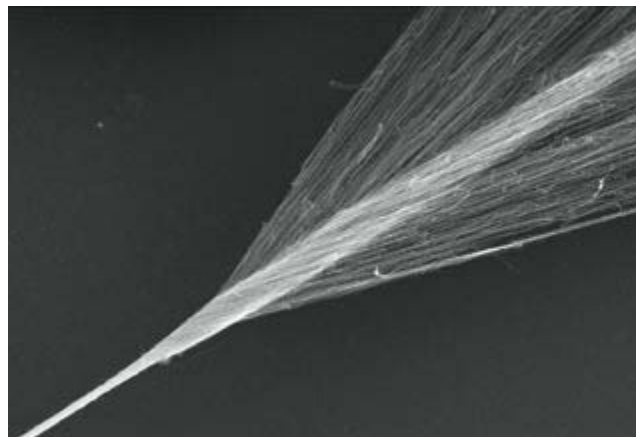
toda Europa encontraron las matemáticas que rigen el comportamiento de estos átomos y partículas y que culminaron con la ecuación de Schrödinger, análoga a la segunda ley de Newton, que describe el movimiento en los territorios de lo minúsculo, así como dicha ley newtoniana lo describe para lo macro, y la relatividad general lo hace para lo inmenso del cosmos.

A quienes no somos del área nos atemorizan las fórmulas matemáticas que se ven en los libros y artículos especializados, aunque, como indica el profesor Guillermo Pineda, de la Universidad de Antioquia, “lo difícil de la física cuántica es que no se pueden hacer representaciones gráficas, pero las matemáticas que subyacen son incluso de las más sencillas en la física contemporánea”. Bueno... por lo menos para los físicos.

Lo cierto es que esta forma de ver la energía y la materia cambió la física entera, la química, la ingeniería, la biología y hasta la filosofía. De allí se desprendieron avances como la energía nuclear y la computación al alcance de la gente; la comunicación satelital y los láseres que hay en cada lector de CD. Nuestra civilización tecnológica corrobora que la descripción del mundo brindada por la física cuántica es acertada.

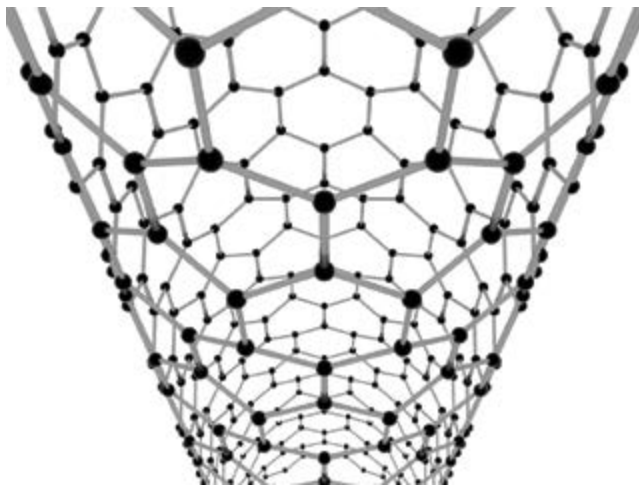
Esto no es tan abstracto como parece: los nanotubos de carbonos, inventos bandera de la nanotecnología, son hilos cuánticos enrollados, que por su resistencia, fuerza y propiedades eléctricas prometen ser útiles para miles de cosas, desde transmisiones holográficas tipo

Futurama hasta injertos óseos ultrarresistentes. Todo hecho con física cuántica. [Figura: nanotubo carbono].



Nanotubo de carbono:  
Un nanotubo de carbono es una forma de hilo cuántico con amplias aplicaciones tecnológicas. Imagen: Bouky. <http://bouky.deviantart.com/>

## El comportamiento de la energía y de las partículas diminutas es extraño a nuestro sentido común



Un nanotubo de carbono es una forma de hilo cuántico con amplias aplicaciones tecnológicas. Imagen: Bouky. <http://bouky.deviantart.com/>

La investigación teórica en física parece futurista, y realmente lo es: va a una velocidad mayor que la experimental y predice cosas que aún no se han desarrollado. Por eso, se espera que con los desarrollos tecnológicos se puedan materializar muchas cosas vislumbradas en los modelos y simulaciones.

El mundo científico se revitaliza con estos avances, como se pudo ver en la 16 Conferencia Internacional de Física de la Luz 2015, que se realizó en Medellín, organizada por la Universidad de Antioquia y el Instituto Mediterráneo de Física Fundamental – MIFP—. Allí personalidades del área se encontraron con jóvenes investigadores, tanto del área básica como de la aplicada, en un evento interdisciplinario que abarcó desde la física pura hasta la biotecnología.

“Hacemos investigación básica, pero también hay desarrollo tecnológico a cargo de equipos de ingenieros”, comentó Giuseppe Eramo, presidente del MIFP. “Por eso estamos en la frontera de la investigación. Ahora no existe el computador de luz, pero quizás en 10 o 15 años se vean estos productos”.

El grupo Materia Condensada hace física teórica pero enfocada hacia el mundo experimental. “Mucha de nuestra motivación son los resultados experimentales. Miramos la bibliografía que existe sobre puntos cuánticos, láseres, semiconductores y muchos otros fenómenos que todavía están por ser explicados. Con nuestro trabajo teórico tratamos de entenderlos y explicarlos, y luego otros grupos buscan corroborarlo experimentalmente”, señala el profesor Duque.

Alexandra Sheremet, joven investigadora del

Instituto de Física de San Petersburgo que estuvo en la Universidad de Antioquia para el PLMCN 2015, trabaja con polaritones: “Eso me implica explorar las interacciones entre la luz y los metales. Es un tema muy popular en la física porque es bastante prometedor desde el punto de vista tecnológico”. [Figura: Polaritón. Se explica en el pie de imagen]

### Unidos se hace mejor ciencia

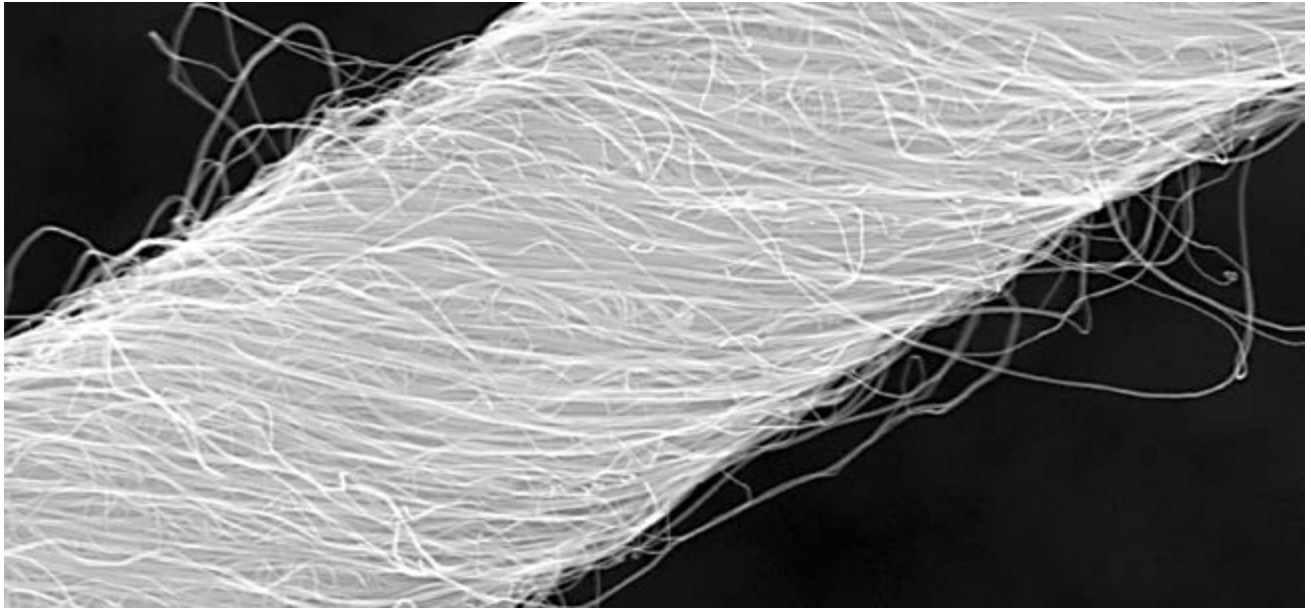
Hasta hace poco, en los países en vías de desarrollo la investigación en física cuántica e interacción luz-materia se veía lejana, casi inaccesible. La razón: los costos. Los equipos requeridos son muy costosos, del orden de 2,5 millones de dólares, y hacerlos funcionar puede costar 4.000 dólares por día. “Cuando un experimentalista va a construir un punto cuántico no puede ponerse a hacer ensayo y error, pues sería insostenible; por eso simulaciones como las que hacemos están a la orden del día”, explica Carlos Duque.

Incluso para los países más ricos el desafío es el mismo, así que la clave es la cooperación. “Hay una globalización de la investigación científica que nos permite avanzar”, señala Giuseppe Eramo. “Colombia tiene un gran potencial científico para invertir en investigación. En Europa tenemos posibilidad de trabajar con países que no son de la Unión. Esto da la posibilidad de colaboración internacional, una forma de integración y globalización”.

Alexei Kavokin, también del MIFP, señala además el panorama comercial que alienta el desarrollo del área: “En el mundo, el mercado optoelectrónico, esencial para dispositivos como teléfonos y láseres, es de más de 20 mil millones de dólares, y está creciendo, y toda esa tecnología está basada en la física de hace 50 años”.

Cuando esta exigente investigación triunfa, la tecnología se hace muy económica. Por ejemplo, desarrollar celdas solares con los fundamentos modernos de la interacción luz-materia es muy económico: sale 5 veces más barato, y aún sin mirarlo a escala industrial.

Esto va mucho más allá: ya se está investigando teóricamente en el desarrollo de computadores cuyos transistores no procesan la información con electrones sino con fotones: son los muy mencionados computadores cuánticos, donde los cálculos se hacen a una velocidad y con una eficiencia millones de veces mayor que lo que permiten nuestros actuales procesadores de semiconductores.



Hebra de nanotubos de carbono:

Hebra de nanotubos de carbono. Un nanotubo de carbono es una forma de hilo cuántico con amplias aplicaciones tecnológicas gracias a su resistencia y propiedades eléctricas. Tomado del repositorio de la Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation (CSIRO). <http://www.csiro.au/>

Lo indica el profesor Eramo: “Aún no existen computadores de luz, pero tenemos la posibilidad de desarrollarlos en 10 o 15 años. Estamos cambiando muchas cosas en la física. Es una revolución”.

---

## Se está investigando teóricamente en el desarrollo de computadores cuyos transistores no procesan la información con electrones sino con fotones: los computadores cuánticos

---

### GLOSARIO

**Partículas fundamentales o elementales:** son las partículas más pequeñas que componen cada átomo, hasta donde sabemos con nuestra ciencia actual. Entre ellas están los electrones y partículas famosas, como los bosones y los neutrinos. Los protones y los neutrones están compuestos de partículas más elementales: los quarks.

**Radiación:** Transmisión o emisión de energía, ya sea en forma de ondas, de partículas (la física cuántica nos prueba que muchas radiaciones, como la electromagnética, se comporta a la vez como onda y como partículas llamadas fotones).

**Segunda ley de Newton:** Indica que la variación en el movimiento de un objeto es directamente proporcional a la fuerza aplicada sobre este, e inversamente proporcional a su masa.

**Ecuación de Schrödinger:** El físico alemán Erwin Schrödinger logró formular una ecuación para predecir el

extraño comportamiento de las partículas subatómicas, utilizando ecuaciones diferenciales. La ecuación es tan efectiva que puede ser extrapolada a sistemas macro e incluso al cosmos entero.

**Láser:** Dispositivo que emite luz amplificada y coherente, es decir, luz generada de modo que todas sus partículas van con la misma frecuencia y fase y en la misma dirección. Su potencia y precisión hace que se use en campos tan variados como telecomunicaciones, cirugías y espectáculos.

**Holograma:** Sistema de registro fotográfico en el que se utiliza luz coherente (láser) para generar una imagen con la tridimensionalidad del objeto representado.

**Optoelectrónica:** Aplicación de la fotónica a dispositivos que generan luz y otras partes del espectro electromagnético: láseres, pantallas LED, emisores rayos X y otros. Es fundamental en la tecnología cotidiana, pues está en muchísimo aparatos, como celulares, televisores y sistemas médicos.