

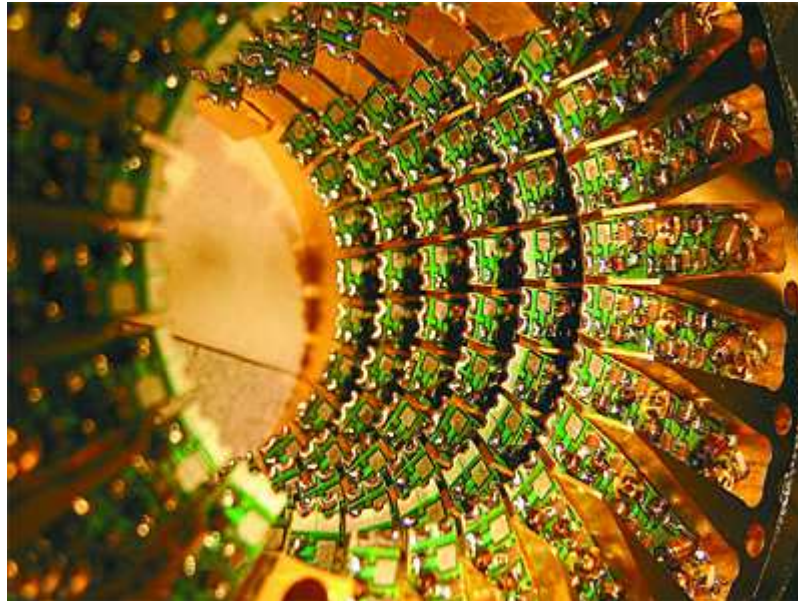


Imagen simulada: Computadora Cuántica

ALGUNAS APLICACIONES TECNOLÓGICAS DE LA FÍSICA CUÁNTICA

Yolanda Cadenas Gómez*

yolcadenas@hotmail.com

Este artículo no tiene mayor pretensión que la de exponer algunas de las aplicaciones tecnológicas de la física contemporánea, dado que nuestra sociedad gira en torno a ellas y, sin embargo, la mayor parte de la población, que conforma dicha sociedad, ignora su origen e incluso opinan que la física cuántica o física de partículas es algo que sólo guarda relación con unos pocos físico teóricos y experimentales que nada tiene que ver con ellos. En una sociedad tecnológica como la nuestra no podemos pasar por alto estas aplicaciones en la medida en que han modificado profundamente nuestra forma de vida y de relacionarnos con los otros.

This article has no greater claim to the expose some of the technological applications of contemporary physics, since our society revolves around them and, however, the greater part of the population, which makes up the society, ignores its origin and they even think that particle physics or quantum physics is something that only concerns a few theoretical and experimental physicist who has nothing to do with them. In a technological society such as ours not cannot ignore these applications as they have profoundly changed our way of life and interact with each other.

Palabras clave: Física de partículas-aplicaciones, sociedad contemporánea, tecnología.

Introducción

La física cuántica o física de partículas elementales es la teoría actual que tenemos acerca del comportamiento y de la naturaleza de los componentes tanto de la materia como de la radiación, la cual vino a sustituir a la física clásica y que ya sólo se utiliza con fines prácticos en algunas ingenierías. Si queremos conocer las bases de nuestra sociedad tecnológica para dar un paso hacia una sociedad del conocimiento no podemos ignorar

el origen y el significado de las aplicaciones tecnológicas que impregnan nuestra sociedad y que son su fundamento. No entraré en esta ocasión en detalles acerca del contenido teórico de la física cuántica, pues sólo me remitiré a sus aplicaciones tecnológicas, pero tampoco puedo pasar por todas ellas por razones de espacio, ya que se necesitaría escribir un libro aparte para todas, pero esbozaré algunas.

Aplicaciones tecnológicas

Pienso que la más importante de tales aplicaciones –en el sentido de ser la que mejor caracteriza a nuestra sociedad tecnológica– es el *transistor*, un invento cuántico realizado entre 1947 y 1951 y basado en el fenómeno de la semiconducción. Un material semiconductor, como puede ser el silicio que está presente en todas nuestras playas, tiene la propiedad de conducir o dejar pasar unas señales y otras no.

Todos los dispositivos de este tipo son capaces de realizar funciones nuevas que no eran posibles con la tecnología electrónica de la física clásica. Las diferentes configuraciones de los semiconductores dan origen a una enorme cantidad de diversos dispositivos electrónicos que se caracterizan por ser livianos, pequeños, de bajo consumo, compactos y sin partes mecánicas, extremadamente rápidos, fabricables y soldables automáticamente y en serie, miniaturizables e integrables en gran escala, económicos y fáciles de adquirir.

Uno de estos dispositivos fabricados con materiales son los microchips de las computadoras habituales, los cuales aprovechan aquella propiedad cuántica de no dejar pasar todas las señales y así, pueden crear un lenguaje binario construido por ceros –cuando no se deja pasar la señal– y unos –cuando sí se permite la conducción de dicha señal. Si bien su uso más común es éste (las computadoras), también se emplean en relojes, calculadoras, radios, teléfonos, amplificadores, circuitos para automóviles, aviones, tostadoras, lavadoras, detectores de humo, sensores de movimiento y alarmas, sensores de luz visible e infrarrojo como los controles remotos de nuestros televisores, por ejemplo.

Además se usan en paneles solares, termómetros criogénicos y ópticos, sistemas de fibra óptica y en satélites para comunicaciones, investigaciones astrofísicas o meteorología, así como también están en los punteros láser, en los indicadores luminosos, en LEDs²⁷ como linternas, automóviles, letreros luminosos y semáforos, en módulos termoeléctricos como refrigeradores y calentadores, etc.

Otra de las aplicaciones más comunes en nuestra sociedad, durante los últimos cincuenta años, son las del *láser*, las cuales van desde sus usos

en medicina y en salones de belleza hasta la elaboración de nuevos dispositivos de almacenamiento ópticos, pasando por la metalurgia o el holograma; éste tiene la propiedad de que cada una de sus partes contiene toda la información de tal forma que al partir un holograma no veremos la parte correspondiente a donde se ha fragmentado, sino todo el holograma en su conjunto. El láser es un fenómeno característico de la electrodinámica cuántica, que es una rama de la física cuántica, cuyo nombre conforman las siglas en inglés *light amplification by stimulated emission of radiation*, cuya traducción es *amplificación de luz por emisión estimulada de radiación*.

Un laser es un dispositivo de emisión de luz pero se diferencia de otros con la misma finalidad – como puede ser una linterna común – en que sus haces de luz no se dispersan (esto es, no se reparten por todo el habitáculo donde se encuentren) y son direccionales de tal manera que disponemos de láseres de pocos vatios o poca potencia que fueron dirigidos hacia la Luna y su luz todavía podía ser vista desde la Tierra; además tiene la propiedad de ser coherente, es decir, las ondas luminosas del láser se acoplan de manera ordenada entre sí sin desplazarse en varias direcciones; otra diferencia con la luz habitual es que los láseres son monocromáticos, es decir, emiten luz en un solo color o frecuencia: el más utilizado es el color rojo pero pueden producirse en cualquier color siempre y cuando sólo contengan ese color incluso pueden producirse en tipos de luz no visible como los rayos infrarrojos y los ultravioleta –la luz común contiene todos los colores de la parte del espectro electromagnético que se corresponde con la luz visible, de cuya combinación resulta el blanco–. Gracias a estas propiedades es posible realizar cirugías que exigen una gran precisión puesto que el láser crea un haz de luz lo suficientemente potente para cortar un tejido, por ejemplo, pero controlando que sólo lo haga con ese tejido, dirigiéndose sólo a él y respetando hasta los más cercanos.

Existe una gran variedad de láseres en función de su potencia: la luz de cualquier láser es muy intensa pero su potencia puede variar desde unos milivatios fabricados con minúsculas tabletas semiconductoras de un tamaño no mayor a un grano de arena hasta aquéllos que pueden producir miles e incluso billones de vatios en una sola pulsación y que pueden alcanzar el tamaño de un edificio. Si bien los láseres son aparatos algo caros, su empleo es muy variado pero, en general, puede decirse que se utilizan allí donde se necesite su propiedad de suministrar la cantidad y el tipo de energía que se

²⁷ La tecnología *LED* se refiere por sus siglas en inglés (*Light-Emitting Diode*) a un diodo semiconductor que emite luz. También se le conoce como "diodo luminoso".

requiere en determinado lugar de manera concentrada, direccionada y coherente.

Junto con las aplicaciones de los láseres que mencioné con anterioridad, también se emplean en dispositivos para la navegación en la telemetría (por ejemplo, con él se ha medido la distancia que hay entre nuestro planeta y la Luna), en las comunicaciones o en el mejoramiento de los relojes atómicos y, por supuesto, en los códigos de barras y los discos compactos (*CD*, *DVD*). Otras aplicaciones caen dentro del campo de la metrología como el sistema de localización y navegación *GPS* pero también se usan para dirigir tanto aviones como misiles. Además se utilizan industrialmente para perforar, soldar o cortar metales; así como en el pulido de materiales o para grabar información en los microchips.

Además de los transistores y el laser, disponemos de potentes aceleradores de partículas, supertelescopios, microscopios de barrido efecto túnel (el conocido como *STM* por sus siglas en inglés), gracias al cual podemos tomar imágenes de superficies en el nivel atómico. Tenemos dispositivos como los denominados *SQUID* (superconducting quantum interference device), esto es, dispositivos superconductores de interferencia cuántica que se utilizan para medir campos magnéticos que son extremadamente pequeños.

La superconducción o superconductividad es otro fenómeno cuántico que consiste en ser un estado más de la materia –como el estado sólido, líquido o gaseoso– en el cual no se da ninguna resistencia eléctrica por parte del flujo de electrones, de tal modo que no sólo no hay pérdida de energía eléctrica cuando conduce a ésta, sino que tampoco permite que el campo de fuerza magnética penetre en su interior; esto último se conoce como el efecto Meissner en el cual se está avanzando mucho y en la levitación cuántica que se basa en la relación de repulsión entre los superconductores y los campos magnéticos: el superconductor queda atrapado en un campo magnético y las ondas magnéticas penetran en él a través de los llamados ‘tubos de flujo’, los cuales permanecen bloqueados en el interior del superconductor, lo cual le permite flotar, rotar e incluso trasladarse.

Otro de los fenómenos cuánticos que se dan en la escala humana, es decir, en fenómenos mesocósmicos o macroscópicos además de la superconducción es la superfluidez. Existen materiales como el helio líquido que en

determinadas condiciones –a temperaturas muy bajas, cercanas al cero absoluto (-273.2°C)– son conocidos como superfluidos. El helio tiene propiedades que hacen que se diferencie del resto de los gases; por ejemplo si reducimos la temperatura de un gas –manteniendo su presión siempre igual a la presión atmosférica del ambiente durante este proceso– entonces el gas pasa de su estado gaseoso a un estado líquido (licuefacción) y, si seguimos enfriando más y más, acabará convirtiéndose en sólido (solidificación). Sin embargo en el helio no se produce esto último y, si bien, podemos conseguir transformarlo en líquido a muy baja temperatura, jamás se convierte en sólido por mucho que disminuyamos la temperatura; es decir, el helio nunca se congela y se mantiene en su fase de fluidez. Entre sus propiedades se cuentan las siguientes: ser un excelente conductor del calor que lo transporta a gran velocidad y comportarse como un fluido ideal porque su viscosidad es casi nula.

Dos de los efectos más asombrosos son el conocido como *efecto fuente* y el *efecto reptación*, que consisten en que el helio líquido no se mantendrá confinado dentro del recipiente en el que esté de tal modo que subirá por las paredes de éste hasta salir de él como si fuera una fuente. Como es evidente esto causa muchos problemas a la hora de diseñar recipientes que contengan helio líquido pues éste escala las paredes y acaba “escapándose”. Más atrás dije que se trataba de un fenómeno cuántico que se da en la escala macroscópica porque son las leyes cuánticas las que estipulan que puede permanecer en estado líquido pese a la temperatura tan baja como es el cero absoluto. Bajo esta temperatura, según las leyes clásicas, el movimiento de los átomos debería desaparecer por completo dada la relación entre temperatura y movimiento molecular, lo cual además supone que, al eliminar el movimiento entre los átomos, las fuerzas atractivas operarían en ellos produciendo la solidificación del líquido; pero las leyes cuánticas no prohíben tal movimiento de los átomos aun a dicha temperatura. Tal forma de conducción del calor es totalmente distinta a la de la física clásica, donde aquella va asociada al movimiento térmico desordenado de las moléculas de un sistema físico dado.

La gran ventaja que tiene esto es el poder observar y estudiar las propiedades cuánticas fundamentales en un nivel distinto al microfísico, puesto que es un líquido cuántico que la Naturaleza pone a nuestra disposición en la escala humana para que podamos ampliar nuestro conocimiento del mundo cuántico que se da, por lo general, en el nivel atómico y subatómico. Dichas propiedades

cuánticas –en contra del procedimiento ordinario de propagación del calor– implican que este helio es capaz de transmitir *ondas de temperatura*, las cuales se propagan alejándose del punto donde se suministró el calor de tal forma que, aunque se cese de suministrar calor, la onda térmica sigue propagándose como lo hace una onda acústica, aumentando la temperatura de los puntos por donde pasa pero disminuyendo a su valor anterior cuando se aleja de él. Ésta es, precisamente, la manera cómo se propaga la presión de una onda sonora, lo cual hizo que los físicos denominaran a esta onda térmica del helio como el *segundo sonido* –y a las ondas sonoras como *primer sonido*– cuya velocidad de propagación se mide en función de la temperatura y se diferencia de las ondas sonoras, o primer sonido, en que a la misma temperatura una onda sonora es unas diez veces más rápida que la onda térmica. En consecuencia, vemos que el helio, si bien es una molécula compuesta por átomos de hidrógeno, también muestra un carácter ondulatorio que es ajeno al modelo corpuscular de los átomos clásicos.

En cuanto a sus aplicaciones, principalmente se usa en los laboratorios donde se generan temperaturas por debajo de 1° K como líquido criogénico altamente refrigerante; también se usa en la realización de experimentos relacionados con temas cosmológicos porque se puede hacer impactar un neutrón contra un átomo de helio superfluido produciendo una fisión del helio que produce un protón y un átomo de tritio con su correspondiente liberación de energía. Así, la superfluidez da lugar a la aparición de determinados “defectos” en el helio que se manifiestan como remolinos o vórtices en su interior, los cuales son similares a los que predicen algunas de las teorías de supercuerdas, o cuerdas cósmicas, cuando el universo se enfrió después del big bang; gracias a lo cual los científicos tienen la posibilidad de realizar experimentos sin salir del laboratorio para simular los acontecimientos posteriores a la creación del universo.

Entre las aplicaciones más vanguardistas están aquéllas donde interviene la propiedad de entrelazamiento cuántico, que se está empleando en criptografía y computación cuántica y teletransportación. Gracias a la computación cuántica podemos trabajar con bits cuánticos o qubits, los cuales ejecutan cálculos exponenciales mucho más rápidamente que las computadoras convencionales, las cuales codifican información usando números binarios, el cero y el uno. En cambio, las computadoras cuánticas codifican información como serie de estados mecánicos

cuánticos superpuestos de manera que se pueden realizar muchos cálculos diversos simultáneamente. Esta propiedad de entrelazamiento cuántico proviene del principio de indeterminación de Heisenberg y de la superposición de estados de la función Ψ en la ecuación de Schrödinger; ambos pilares de la mecánica cuántica. Explicado brevemente este entrelazamiento o superposición de estados consiste en que un sistema físico se encuentra en todos los estados posibles mientras que no se le realice ninguna medición; así, el sistema permanece en esta superposición de estados hasta que es medido, pues entonces se destruye la superposición y aparece en uno sólo de sus estados, destruyendo su par correspondiente. Esto se conoce como colapso de Ψ en la ecuación de Schrödinger, que tiene su contrapartida en las relaciones de Heisenberg cuando se mide uno de los estados, dejando totalmente indeterminado el otro.

La criptografía cuántica está estrechamente relacionada con la computación cuántica y garantiza la absoluta confidencialidad de la información que se está transmitiendo: si un intruso intentara descifrar la información, ésta se destruiría como consecuencia del principio de indeterminación de Heisenberg y el colapso de onda de la ecuación de Schrödinger, pues se iniciaría un proceso de medición en el sistema que alteraría dicho sistema. En cuanto a la teletransportación consiste en transferir un estado cuántico a algún lugar alejado usando el estado de entrelazamiento cuántico, o superposición de estados, y la transmisión de cierta información, lo cual es muy útil en las áreas de comunicación y de computación cuánticas.

En cuanto a otra más de las grandes aplicaciones es la nanotecnología que es el estudio y diseño de materiales y aparatos en una escala pequeñísima, denominada *nano escala*. Aquí se estudian las propiedades de la materia para alterar y reordenar su estructura molecular y atómica de tal manera que podemos disponer de nuevos materiales, como ocurre con la nanotecnología del carbono (nanotubos de carbono) o con las nanomáquinas. Sus aplicaciones abarcan desde la medicina hasta la industria con nuevos materiales de propiedades extraordinarias como ser más fuerte que el acero pero tan liviano como el diez por ciento del peso de éste; habrá nuevas aplicaciones informáticas con componentes mucho más rápidos y sensores moleculares capaces de detectar y destruir con una precisión casi inconcebible células cancerígenas en las partes más delicadas del cuerpo como es el cerebro. En suma, la nanociencia está dando sus

primeros pasos pero, según vaya avanzando, sus aplicaciones cambiarán aún más este mundo y esta sociedad nuestra que sería irreconocible para un viajero del tiempo proveniente del siglo pasado.

Para dar por terminada este registro de aplicaciones tecnológicas de nuestra actual teoría física –que de estar completo sería casi interminable–, volveré a aquéllas que impregnan nuestra vida cotidiana: tenemos hornos microondas, Internet, la esfera de plasma²⁸ o lámpara luminiscente, así como los televisores de plasma, los radioisótopos utilizados por ejemplo en radioterapia, las centrales nucleares, tomografías, resonancias magnéticas nucleares, ultrasonidos, la datación radioactiva (por carbono-14), las células fotoeléctricas, los punteros de láser –cuyos haces dirigidos facilitan el apuntado tanto de las armas como de un señalador cualquiera–, la fibra óptica y ... ¡quién puede enumerar cuánto más!

Conclusión

Si bien la física cuántica es la gran desconocida –pese a que ya cuenta con más de cien años– entre los individuos que conforman nuestra sociedad, este desconocimiento no está justificado de ninguna manera puesto que impregna todo lo que existe en nuestro interior y a nuestro alrededor. Si el objetivo de nuestra sociedad tecnológica y de la información es dirigirse a una sociedad del conocimiento no podemos ignorar todos los avances que he venido enumerando –y muchos más– y conformarnos con apretar botones para lograr que se encienda nuestro televisor de plasma, el microondas o nuestro teléfono celular. La sociedad y sus individuos deben realizar un esfuerzo por comprender, por ejemplo, que un CD (Compact Disc) funciona gracias a la tecnología láser: están hechos de un material altamente reflectante y, aunque no lo veamos, su superficie posee escalones o peldaños de diferente altura; así el láser emite un haz de luz que, si rebota en un escalón más alto de la superficie del CD, el tiempo que tarda la luz en ir y volver al lector es más breve y, viceversa, si el peldaño es más bajo, entonces el tiempo es más largo. Como estas diferencias de tiempo se traducen en un lenguaje binario de ceros y unos (parecido al de las computadoras), es posible ver y grabar la información que contiene dicho disco. Además, todos sabemos acerca de los tipos de cirugía que se

hacen con un láser, como aquellas que eliminan la miopía o que deshacen las “piedras” que se forman en los riñones; pero pocos saben que es una tecnología que se debe a la electrodinámica cuántica y a las propiedades cuánticas del láser.

Como puede comprobarse con el ejemplo anterior no es tan difícil entender el funcionamiento básico de nuestros dispositivos cuánticos; sólo hace falta voluntad, el querer hacerlo, lo cual es una actitud imprescindible si queremos salir de una sociedad tecnológica pero oscurantista con respecto a la ciencia.

En suma, se ha venido investigando y descubriendo nuevas formas de luz y de estados de la materia; nuevos materiales; superfluidos y superconductores; teletransportación cuántica; computación y criptografía cuántica; el efecto Meissner como una forma de levitación, dispositivos de almacenamiento óptico como los hologramas; la tecnología LED y, por supuesto, todas las novedades que nos trae la nanotecnología. Todo esto parece ciencia ficción o magia, pero si nos esforzamos por conocerlo, podremos comprobar que nuestra tecnología está aún más avanzada de lo que pensábamos y que adentrarse en su conocimiento es una aventura sin precedentes que nos muestra un mundo donde la magia es tecnología; donde mucho de lo considerado como imposible es posible; donde la ignorancia es un sutil velo que es fácil de retirar; donde nuestros hábitos de pensamiento acerca de la realidad, que se arraigaron en nosotros por nuestras formas de percepción y por la física clásica, han de ser derribados para comprender cómo ha venido siendo modificada nuestra forma de vida y de relacionarnos. Por consiguiente, una sociedad del conocimiento no puede dejar en la oscuridad la nueva forma de entender la realidad físico-material ni la realidad social que se ha venido configurando a través de las aplicaciones tecnológicas de nuestra teoría física actual.-

²⁸ El plasma es un nuevo estado de la materia en el cual ésta se encuentra fuertemente ionizada.

BIBLIOGRAFÍA

- ROJO, A., *La física en la vida cotidiana*, México; Buenos Aires; Madrid, Siglo XXI, 2007.
- GREENE, B., *El tejido del Cosmos. Espacio, tiempo y la textura de la realidad*, Barcelona, Editorial Crítica, 2010.
- GREENE, B., *El universo elegante. Supercuerdas, dimensiones ocultas y la búsqueda de una teoría final*, Barcelona, Editorial Crítica, 2006.
- BARROW, J.D., *Teorías del Todo. Hacia una explicación fundamental del Universo*, Barcelona, Editorial Crítica, 2006.
- LEDERMAN, L./ TERESI, D., *La partícula divina. Si el universo es la respuesta ¿cuál es la pregunta?*, Barcelona, Editorial Crítica, 2008.
- HOLTON, G., *Introducción a los conceptos y teorías de las ciencias físicas*, Barcelona, Editorial Reverté, 2004.
- SÁNCHEZ DEL RÍO, C., *Los principios de la física en su evolución histórica*, Madrid, Editorial de la Universidad Complutense, 1985.
- BELL, J.S., *Lo decible y lo indecible en mecánica cuántica*, Madrid, Alianza Editorial, 1990.
- BRAUN, E., *Electromagnetismo. De la ciencia a la tecnología*, México, Fondo de Cultura Económica (Colección: "La ciencia para todos", n° 112), 2003.
- BRAUN, E., *Caos, fractales y cosas raras*, México, Fondo de Cultura Económica (Colección: "La ciencia para todos", n° 150), 2003.
- FERNÁNDEZ-RAÑADA, A.F. (ed.), *Física Básica* (2 vols.), Madrid, Alianza Editorial, 1997.
- ACZEL, A.D., *Entrelazamiento: el mayor misterio de la física*, Barcelona, Editorial Crítica, 2008.
- PENROSE, R., *La nueva mente del emperador*, Barcelona, Editorial DeBOLSILLO, 2007.
- RAMOS LARA, M.P. (coord.), *La mecánica cuántica en México*, México; Buenos Aires; Editorial Siglo XXI, 2003.
- DE LA PEÑA, L., (coord.), *Ciencias de la materia. Génesis y evolución de sus conceptos fundamentales*, México; Madrid, Editorial Siglo XXI, 1998.
- BOHM, D., *La Totalidad y el Orden Implicado*, Barcelona, Editorial Kairós, 2005.
- FEYNMAN, R.P., *Qué significa todo eso. Reflexiones de un científico-ciudadano*, Barcelona, Editorial Crítica, 2010.
- FEYNMAN, R.P., *Electrodinámica cuántica*, Madrid, Alianza Universidad, 2007.
- FEYNMAN, R.P., *El carácter de la ley física*, Barcelona, Tusquets Editores, 2005.
- MAGAÑA SOLÍS, L.F., *Los superconductores* (Colección: "La ciencia para todos", n° 64), México, Fondo de Cultura Económica, 2003.
- GARCÍA-COLÍN SCHERER, L./RODRÍGUEZ ZEPEDA, R., *Líquidos exóticos*, Mx. Fondo de C. Económica (Colección: "La ciencia para todos", N° 104), 1995.
- WILL, C.M., *¿Tenía razón Einstein? La espectacular confirmación científica de la teoría de la relatividad*, Barcelona, Editorial Gedisa, 2005.
- GRIBBIN, J., *En busca de SUSY. Supersimetría, cuerdas y la teoría del todo*, Barcelona, Editorial Crítica, 2000.
- OERTER, R., *La teoría de casi todo. El modelo estándar, triunfo no reconocido de la física moderna*, México, Fondo de Cultura Económica, 2008.
- CADENAS GÓMEZ, Y., *Más allá de la Complementariedad: la realidad física del mundo cuántico*, Saarbrücken, Editorial Académica Española; Academic Publishing GmbH & Co. KG, 2011.

Si el lector estuviera interesado en informarse más acerca del entrelazamiento cuántico o correlaciones EPR, los cañones láser y la teletransportación, puede consultar, por ejemplo, el siguiente libro:

ACZEL, A.D., *Entrelazamiento: el mayor misterio de la física*, Barcelona, Editorial Crítica, 2008.

En cuanto a los temas relacionados con el láser, semiconductores, transistores y superconductividad, el lector puede acudir a los capítulos 21 y 22 del segundo volumen del libro:

FERNÁNDEZ-RAÑADA, A. (Ed.), *Física básica*, (2 vols.), Madrid, Alianza Editorial, 1997.

O bien en:

MAGAÑA SOLÍS, L.F., *Los Superconductores*, México, Fondo de Cultura Económica (Colección: "La ciencia para todos", n° 64), 1995.

GARCÍA-COLÍN SCHERER, L./RODRÍGUEZ ZEPEDA, R., *Líquidos exóticos*, México, Fondo de Cultura Económica (Colección: "La ciencia para todos", n° 104), 1995.

Para los temas de computación y criptografía cuántica pueden consultarse:

LAUGHLIN, R.B., *Un universo diferente: la reivindicación de la física en la Edad de la Emergencia*, Buenos Aires, Katz Editores, 2007.

BARRO AMENEIRO, S./BUGARÍN DIZ, A.J. (Coord.), *Fronteras de la computación*, Madrid, Fundación Dintel; Madrid, Ediciones Díaz de Santos, 2002.

AREITIO BERTOLÍN, J., *Seguridad de la información: redes, informática y sistemas de información*, Madrid, Editorial Paraninfo, 2008.

CABELLO, A. *Criptografía cuántica eficiente*. EN: MATAIX, C./RIVADULLA, A., (Eds.), *Física cuántica y realidad*, Madrid, Editorial Complutense, 2002.

En relación con la nanotecnología:

POOLE, Ch.P.Jr./OWENS, F.J., *Introducción a la nanotecnología*, Barcelona, Editorial Reverté, 2007.

SHELLEY, T., *Nanotecnología: nuevas promesas, nuevos peligros*, Mataró, Editorial El Viejo Topo, 2006.



***Doctora en filosofía por la Universidad Complutense de Madrid (España), cuya especialidad es el estudio de los fundamentos epistemológicos y ontológicos de la física cuántica. Investigadora y Docente en la Universidad Autónoma de Nayarit en Tepic (Nayarit, México). Publicaciones: *Más Allá de la Complementariedad: una interpretación realista de la física cuántica*, *Epistemología, Ontología y Complementariedad en Niels Bohr*, junto con otras obras colectivas además de artículos y conferencias relacionadas con el mismo tema.-**