

¿Ciencia-tecnología o tecnología-ciencia?

Jorge Flores Valdés *

La relación de la ciencia con la tecnología, o bien de la tecnología con la ciencia, es por demás complicada. Muchos discursos de los científicos, sobre todo cuando éstos se dedican a la ciencia básica, justifican ante los políticos el apoyo a su trabajo argumentando que la ciencia básica da origen a la ciencia aplicada y ésta a la tecnología. De esta cadena lineal, se trata de concluir que es indispensable desarrollar los conocimientos básicos para producir buena tecnología. Sin embargo, tal cadena no funciona en muchos casos. De hecho, hay ejemplos notables en que su sentido en el tiempo se invierte. Con seguridad, las relaciones ciencia-tecnología son mucho más complejas, no lineales, con retroalimentación, a veces no predecibles, en fin, difíciles de precisar.

Tomaré aquí un ejemplo de la física del siglo XX en donde se manifiestan muy claramente las difíciles interrelaciones entre los conocimientos más fundamentales y las tecnologías muy usuales y poderosas. Para ello, describiré la historia de un aparato que mucha gente conoce ya sea porque lo ha utilizado como apuntador en una conferencia, o lo ha visto en operación en los lectores de discos compactos o en el supermercado para leer los códigos de barras que hoy llevan casi todos las mercancías que ahí se venden.

El láser –palabra hoy admitida por la Real Academia Española como parte de nuestro idioma– es un acrónimo del inglés *light amplification by*

stimulated emission of radiation. Es, sin duda, el más espectacular logro de la óptica del siglo pasado.

Como en muchos otros avances de la física, el origen conceptual del efecto láser se debe a Einstein. En una de tantas contribuciones del mayor de los físicos, Einstein se dio cuenta en 1916 de que un átomo excitado podría emitir luz en dos formas distintas: espontáneamente o por emisión estimulada. A la primera estamos acostumbrados; ocurre en el Sol y en los focos incandescentes. La segunda es más sutil.

Los átomos se excitan absorbiendo fotones, los cuantos de luz, que exactamente los llevan a alguno de los niveles de energía en los cuales pueden existir. Los átomos excitados buscan su estado de mínima energía y liberan su exceso energético casi de inmediato, emitiendo un fotón.

Algo diferente ocurre si el átomo se halla excitado cuando un fotón de la energía apropiada choca con él. Entonces, el átomo emite dos fotones idénticos y coherentes. La onda del segundo fotón estaría en fase con la del otro que estimuló su salida. Estos fotones podrían causar la emisión de otros más si chocaran con átomos excitados, produciendo así un haz de luz coherente.

En los años veinte, esta idea de la física básica quedó bien establecida, pero hubieron de pasar cuatro décadas para que fuera llevada a la práctica. La principal dificultad residía en conseguir un gran número de átomos igualmente excitados, es decir, lograr lo que se conoce como inversión de población.

Usando microondas y una población de moléculas de amonio excitadas, en



1954 Charles Townes logró un amplificador de microondas. Construyó lo que se llama un *maser* (por sus siglas en inglés, *microwave amplification by stimulated emission of radiation* y que, por cierto, no está en el Diccionario de la Real Academia). Este *maser* es el precursor del láser, que opera con luz visible.

El primer láser, que entró en operación en 1960, fue construido por el físico estadounidense Theodore Maiman. Usó un cilindro de rubí, que es un compuesto de aluminio y oxígeno con impurezas de cromo, las cuales le dan su característico color rojo. Para invertir la población de los átomos de cromo, Maiman utilizó una bobina de vidrio llena de gas xenón, por la cual hacía pasar un pulso de corriente. El xenón se excitaba y emitía fotones que bombeaban al cromo. Así se producía la emisión estimulada de luz.

Uno de los extremos del cilindro de rubí se cubría con un espejo reflector,

* Investigador del Centro de Ciencias Físicas, Campus Morelos, UNAM

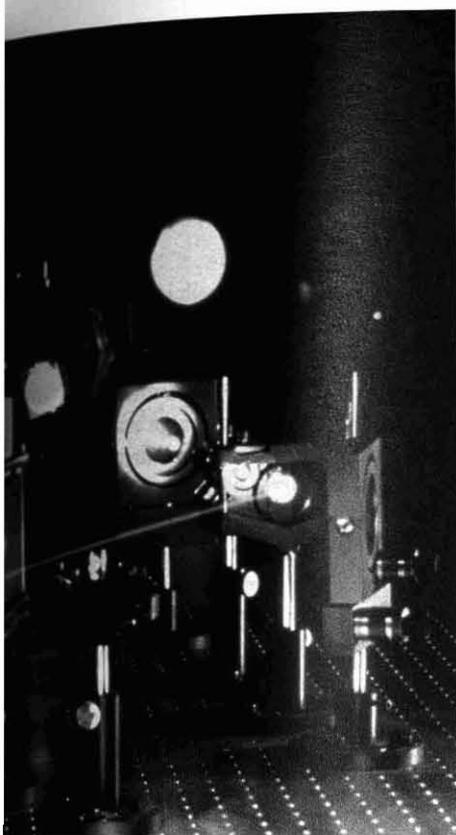


Foto: A Estrada

ciencia-tecnología se ha complicado, pues los avances tecnológicos contribuyen de manera fundamental al desarrollo de la ciencia. Estamos, más bien, frente a la espiral ciencia-tecnología-ciencia—espiral que indica que el conocimiento aumenta en cada ciclo.

Las teorías físicas más profundas que ha generado la humanidad son, sin duda, la mecánica de Newton y la física cuántica. La historia de esta última comienza hace poco más de cien años, con Planck, y luego Einstein y Bohr la desarrollan, hasta que a mediados de los años veinte, Schrödinger y Heisenberg, independientemente, formalizan la mecánica cuántica. Desde entonces la han puesto a prueba, miles, o acaso millones, de cálculos teóricos y experimentos. El formalismo de la mecánica cuántica ha salido siempre invicto. Sus métodos nos llevan a entender el comportamiento del mundo microscópico y las predicciones cuánticas han permitido grandes desarrollos tecnológicos como el láser, el transistor y, la nanotecnología.

Sin embargo, no hay todavía acuerdo entre los físicos sobre la interpretación de la mecánica cuántica. Conceptos como la dualidad partícula-onda, el principio de incertidumbre, el proceso de medición de variables físicas, son ajenos a la física macroscópica y por ello a nuestra intuición. La interpretación de la teoría cuántica formó parte más bien de la filosofía que de la física, hasta que el desarrollo de la tecnología, en particular de la tecnología láser, hizo posibles una serie de experimentos que empezaron a allanar el camino.

La interpretación, llamada ortodoxa, de la mecánica cuántica fue postulada por el físico danés Niels Bohr, y por ello se le llama la Escuela de Copenhague. Muchos físicos notables, entre ellos Einstein y el propio creador de esta teoría, Erwin Schrödinger, no estaban de acuerdo con Bohr y propusieron una serie de experimentos con el fin de

mostrar que la interpretación ortodoxa conducía a contradicciones fatales. Uno de estos experimentos se conoce como la paradoja EPR, pues fue expuesto en un artículo publicado en 1935 por Einstein, Podolsky y Rosen. Allí se cuestiona la idea de que dos partículas distantes estén correlacionadas de manera instantánea. Uno más de estos experimentos fue propuesto por Schrödinger y lleva su nombre: se conoce como el gato de Schrödinger, pues en él un gato macroscópico puede estar muerto y vivo a la vez.

Mucha tinta se derramó y varios de los mejores físicos atacaron estos y otros problemas básicos adoptando posiciones antagónicas. Las cuestiones empezaron a dilucidarse gracias a un avance tecnológico. Hacia 1982, la tecnología láser había avanzado lo suficiente al punto que el físico francés Aspect y sus colegas de la Universidad de París pudieron sujetar a la prueba del experimento las diversas interpretaciones de la paradoja EPR; la interpretación ortodoxa parece ser la correcta. Otra paradoja que empieza a disolverse es la del gato de Schrödinger. Gracias otra vez a los avances en la tecnología láser, se pudo poner a prueba experimental la interpretación de Copenhague de la mecánica cuántica. Recientemente, en 1996, un grupo de investigadores pudo, usando láseres, recrear en átomos de rubidio, estados que simulan lo que ocurre con el gato de Schrödinger. Bohr y su escuela continúan invictos.

Tanto los experimentos EPR y aquellos sobre el gato de Schrödinger, son importantes para construir lo que se conoce como la computadora cuántica. A diferencia de la computadora digital actual, basada en componentes tanto clásicos como microscópicos, la nueva computadora usa los principios de la mecánica cuántica, manipulando estados microscópicos de la materia. Se espera construirla en una o dos décadas y significaría, posiblemente, el avance tecnológico más grande del ini-

que forzaba a los fotones a rebotar, con lo cual se estimulaba así la emisión de más fotones. El otro extremo del cilindro se cubría con un espejo semiplatado, que permitía la salida de un chorro de fotones coherentes cada vez que la lámpara de xenón se encendía.

Muy pronto se diseñaron otros láseres, más potentes y entonables. Sus aplicaciones prácticas surgieron por doquier. Hoy, los láseres son indispensables en las telecomunicaciones, que usan las fibras ópticas. Se utilizan también en cirugía, particularmente en la de ojos. Cuando tienen mucha potencia se emplean para cortar y soldar metales. Se aplican también para controlar la impresora de una computadora, y para mil usos más.

Lo que aquí me interesa resaltar, sin embargo, no son las aplicaciones del láser en la vida cotidiana, sino la importancia que esta tecnología ha tenido para la investigación básica en la física de hoy. Como veremos, la cadena

cio del siglo XXI, pues esta máquina sería capaz de realizar, en un tiempo muchísimo menor, cálculos que hoy tomarían muchos miles de años.

Más la tecnología láser ha sido fundamental no sólo en problemas tan profundos de la física muy básica como la interpretación de la mecánica cuántica. Dos fenómenos, sugeridos ambos en la teoría por Einstein hace más de 80 años, pueden ahora estudiarse experimentalmente: los condensados Bose-Einstein, una nueva fase de materia, y las ondas gravitacionales, predichas por la teoría general de la relatividad.

Al final de los años veinte, el físico hindú Bose y Einstein predijeron que ciertos átomos, enfriados a una temperatura muy cercana al cero absoluto, podrían ocupar todos el mismo estado, formando un *superátomo*, una nueva forma de la materia. Para lograrlo en la práctica se necesitaba atrapar y disminuir la velocidad de los átomos, llevándoles a una temperatura menor a un millonésimo de grado Kelvin. La tecnología no daba para ello. Fue hasta 1995 cuando, usando campos magnéticos y enfriadores láser, fue posible construir el condensado. Una vez más, la tecnología láser permitió un avance importante en la física más básica. Dada la espiral ciencia-tecnología, seguramente los condensados de Bose-Einstein llevarán a nuevos desarrollos tecnológicos, que hoy ni siquiera imaginamos.

Con la teoría general de la relatividad se predijo desde hace muchos años la existencia de las ondas gravitacionales, que afectan la geometría del espacio-tiempo. Si en algún lugar del Universo tuviera lugar un suceso muy violento, estas ondas alcanzarían a la Tierra. Hasta ahora tales ondas no se han detectado, pues son muy débiles y nuestra tecnología no era lo suficientemente fina. Hoy la tenemos, usando otra vez láseres. Varios interferómetros láser, que cuestan cientos de millones de dólares,

están a punto de entrar en operación para observar las ondas gravitacionales. Sin olvidar su origen en la ciencia, tenemos pues otro ejemplo de tecnologías que preceden al conocimiento científico muy básico.

He ilustrado la compleja relación de la ciencia con la tecnología mostrando casos del siglo XX. Sin embargo, ejemplos ilustrativos de otras épocas son fáciles de hallar. Podemos elegir el siglo XIX y analizar la teoría electromagnética o el desarrollo de la termodinámica. Es posible también remontarnos al origen mismo de la ciencia experimental y ver los problemas tecnológicos a los que se enfrentó Galileo. A

pesar de ser un maestro en inventar experimentos pensados, en su "Diálogo sobre dos nuevas ciencias", Galileo repite en innumerables ocasiones la importancia de llevar a cabo experimentos reales, de medir tiempos y distancias. Aquéllos, en particular, son difíciles de medir con precisión. Primero, Galileo empleó su propio pulso como reloj y pronto se dio cuenta de la gran incertidumbre con que medía, sobre todo, intervalos cortos de tiempo. Por ello empezó a utilizar la clepsidra, el reloj de agua. Al inicio de su experimento, de su observación controlada, abría la

llave de un recipiente y, al final del proceso que observaba, clausuraba la llave. Pesando la cantidad de agua que había fluido, podía Galileo comparar intervalos de tiempo con no mala precisión. Así pudo comprobar, entre otras cosas, que la distancia recorrida por cuerpos uniformemente acelerados era proporcional al cuadrado del tiempo transcurrido. Un ejemplo más: el desarrollo de una tecnología, en este caso la clepsidra para medir intervalos de tiempo, fue crucial para establecer las leyes de la mecánica clásica que a su vez permitirían construir mejores relojes. Con éstos se responde a necesidades tecnológicas y comerciales, y también se hace posible ampliar el conocimiento científico.

En todo caso, la compleja relación entre ciencia y tecnología que he presentado continuará siendo causa de acalorados debates en el futuro. ←