

¿Puede la Ciencia Explicar Todo?

Benjamín L. Clausen

La ciencia y la tecnología afectan casi todos los aspectos de nuestra vida. Nuestro alimento ha mejorado gracias al uso de fertilizantes y pesticidas químicos; se lo prepara con aditivos y conservadores, y se lo empaqueta con material plástico. Nuestra comunicación por teléfono, radio, televisión, facsímil, correo electrónico y máquinas fotocopiadoras es rápida y eficiente. Nuestro transporte es rápido. Las computadoras hacen nuestra teneduría de libros y el procesamiento de palabras. Nuestros entretenimientos provienen de discos compactos, videos y juegos electrónicos. Aun nuestra salud y la longevidad han mejorado dramáticamente debido a los descubrimientos científicos y médicos, tales como la penicilina y la poliovacuna. La ciencia también nos ha proporcionado productos prácticos como los bolígrafos y los tejidos sintéticos.

Debido a que el método científico da buenos resultados, tanto el gobierno como la industria privada están dispuestos a invertir sumas cuantiosas en la investigación. Muchos estudios científicos despliegan la elegancia, la lógica y la coherencia intrínseca del mundo natural. La tentación de sondear los secretos de la naturaleza y utilizarlos para beneficio de la humanidad sobrepasa las barreras políticas y crea una fraternidad científica mundial. No nos sorprende el hecho de que haya quienes piensan que se puede usar el método científico para resolver todos nuestros problemas; pero aunque los logros científicos sean impresionantes, la ciencia tiene sus limitaciones.

El cristiano cree que la realidad es mucho más compleja de lo que la ciencia puede abarcar. Los milagros registrados en la Biblia, especialmente la encarnación y la resurrección de Jesucristo, que constituyen el corazón del cristianismo, no se pueden estudiar por métodos científicos.

Estos acontecimientos sobrenaturales no están ocurriendo actualmente, y por lo tanto, no son eventos observables, repetibles, ni falsificables. La ciencia tampoco puede ofrecer normas absolutas para contestar preguntas morales y éticas. Asimismo es incapaz de darle un propósito y significado trascendente a la vida, ya que no puede conquistar la muerte.

Aun en el caso de que se ignoren las limitaciones de la ciencia, su naturaleza inductiva presenta limitaciones intrínsecas. Esto queda ilustrado mejor al estudiar un modelo científico, como sería el caso de la luz en el campo de la física.¹

La onda como modelo de la luz

A fines del siglo XVII ya habían sido observadas las más simples propiedades de la luz. La luz viaja en líneas rectas a una velocidad finita. La luz se refleja en la forma que lo hace en el espejo, y se refracta o se curva cuando pasa de un medio a otro tales como el aire, el agua o el vidrio. Esta propiedad explica el origen del arco iris y se aprovecha para la construcción de lentes y telescopios. La luz se difracta, se dispersa, al pasar por aberturas pequeñas como sucede con las ondas del agua en la curva de un río. Esta misma propiedad que existe en el sonido permite oírlo a la vuelta de la esquina. La luz demuestra el fenómeno de la interferencia en la misma forma que dos grupos de ondas creadas por dos rocas arrojadas a una laguna interfieren la una con la otra; pero continuarán avanzando independientemente. Un afinador usa la interferencia de las ondas del sonido o la frecuencia de la sintonía para afinar un piano. La interferencia de la luz nos explica los colores en una película de aceite, en las burbujas de jabón y en las alas del pavo real, y es la base física de los hologramas. La luz

puede ser polarizada o forzada a vibrar en un plano simple así como a una cuerda de una guitarra se la puede obligar a vibrar solamente en una dirección horizontal. Se usa esta propiedad para reducir el resplandor en lentes polarizados para el sol.

Estas propiedades de la luz se han explicado en varias ocasiones tanto en base a modelos de partículas separadas, semejantes a balines, como en modelos continuos, semejantes a las ondas del agua.

A fines del siglo XVII, Isaac Newton propuso un modelo basado en el concepto de partículas para explicar el fenómeno de la luz, el cual se convirtió en el modelo aceptado durante el siglo XVIII. Christian Huygens, un coetáneo de Newton, pensó que la luz se puede describir mejor como una onda, semejante a la onda del agua o el sonido, lo cual ganó aceptación a fines del siglo XIX.

Este modelo de onda de fines del siglo XIX era suficientemente abarcante como para explicar la mayoría de las observaciones de la física de esa época. Una de las sencillas propiedades de la onda es la relación expresada en la fórmula: $Velocidad = frecuencia \times longitud\ de\ onda$. Imaginemos unas ondas de agua que llegan a la playa. La frecuencia es el número de ondas que golpean la playa cada minuto. La longitud de la onda es la distancia de una onda a la próxima. La multiplicación de estas dos cantidades nos da la velocidad de las ondas. En forma similar las ondas del sonido de un piano provienen de las vibraciones de las cuerdas que viajan hacia el oído a una velocidad constante. Las cuerdas más cortas del piano producen un sonido con ondas de pequeña longitud, dando como resultado una frecuencia mayor o más alta. Las cuerdas largas producen un sonido con ondas de mayor longitud y menor frecuencia. La frecuencia aproximada de "do mayor" del piano es 262 vibra-

ciones por segundo o hercio (unidad de frecuencia) y la longitud de onda en el aire es alrededor de 1,3 metro y la velocidad alrededor de 340 metros por segundo. (La mayoría de la gente puede oír entre 20 Hz y 15.000 Hz, mientras que los perros y los murciélagos pueden oír frecuencias mayores.)

El concepto de frecuencia aplicado a las ondas puede generalizarse para la luz. La luz roja tiene la más baja frecuencia en la luz visible para los seres humanos y la luz violeta tiene la más alta. Y así como hay frecuencias del sonido mayores que las que se encuentran en el piano, la luz ultravioleta que produce quemaduras de sol tiene una frecuencia más alta que la luz violeta. Los rayos X usados en las diagnósis médicas y los rayos gamma presentes en la radioactividad tienen frecuencias aún mayores. En la otra dirección del espectro, las frecuencias menores que las del rojo comienzan con rayos infrarrojos que sentimos como calor, luego las microondas que se usan para cocinar y después las ondas del radio.

Notemos que al multiplicar la frecuencia común AM de la radio, tal como 1.000 KHz (o un millón de ciclos por segundo) por la longitud de su onda de 300 metros (aproximadamente 1.000 pies) da la velocidad de la luz equivalente a 300 millones de metros por segundo.

La luz se produce cambiando los campos eléctrico y magnético, de manera que el modelo de onda de luz incluye tanto la electricidad como el magnetismo. Las ondas de radio se producen por la electricidad en la antena transmisora de una estación de radio, y la luz visible proviene de la electricidad en un foco de luz o por relámpagos. La electricidad se produce por imanes movibles en un generador hidroeléctrico o a vapor. Las ondas de luz de los rayos gamma, de la luz visible y de las ondas de radio son todas parte del espectro electromagnético.

Casi todos los fenómenos observados de luz, electricidad, y magnetismo, fueron descritos hace cien años por James Clark Maxwell, que usó un conjunto de cuatro ecuaciones. Su modelo de ondas de radiación electromagnética era abarcante, unificador, elegante y lógico. Considerando todos los fenómenos que el modelo de ondas de luz podía explicar, obviamente parecía mucho mejor que el modelo obsoleto de partículas de luz sugerido por Newton. A fines del siglo XIX los científicos estaban satisfechos con el entendimiento que tenían de la luz y creían que había poco que aprender acerca de ella. El modelo de onda parecía ser satisfactorio y requería solamente unas pequeñas modificaciones.²

Una revolución en los modelos

Sin embargo, varios aspectos y datos no habían sido explicados aún. Los intentos de estudiar estos problemas pendientes condujeron a dos grandes revoluciones:³

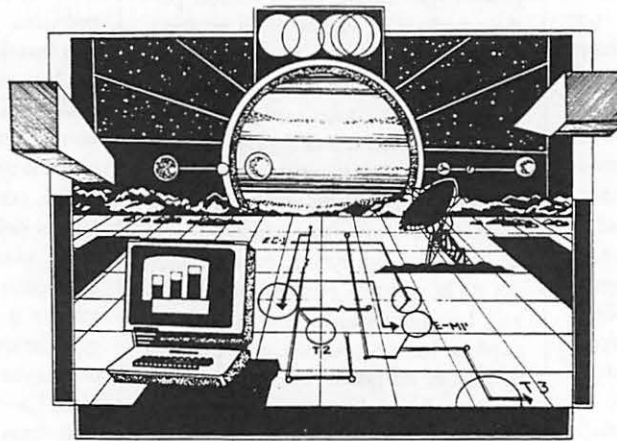
La relatividad. La primera dificultad tenía que ver con el medio en el cual viaja la luz. Las ondas del agua viajan en el agua y las ondas del sonido viajan en el aire. Pero las ondas de la luz viajan a través del espacio en su ruta del Sol a la Tierra, donde no parece haber ningún medio. Se postuló que una sustancia llamada éter proveía el medio. Se realizaron varios experimentos con la intención de detectarlo, pero no se halló ninguna evidencia de su exis-

tencia. La extrapolación de las ondas de agua a ondas de luz dio por resultado un modelo aproximado que permitió una buena explicación de muchos fenómenos; pero no pudo predecir un medio para la luz. Alrededor de 1905, Albert Einstein resolvió el problema al asumir que las ondas de la luz no podían ser modeladas exactamente según las otras ondas. En su teoría especial de la relatividad postuló que las ondas de la luz viajan independientes de cualquier medio o marco de referencia.⁴

La teoría especial de la relatividad hizo una predicción extremadamente no intuitiva que mientras se observa un objeto moviéndose a una velocidad cercana a la velocidad de la luz, su masa parecería aumentar, su longitud se acortaría y su tiempo se movería mucho más lentamente. Esta predicción ha sido confirmada mediante experimentos y las ecuaciones de la relatividad especial son usadas rutinariamente para describir experimentos en aceleradores de partículas. Las observaciones de las velocidades comunes no explican lo que sucede a las sumamente altas velocidades en que viaja la luz.

La mecánica cuántica (unidad elemental de energía). La segunda dificultad tenía que ver con la noción de si la luz era realmente una onda. El modelo de partículas de Newton hacía tiempo que había sido superado por el modelo de la onda, pero había algunas observaciones tales como la catástrofe ultravioleta, que no podían explicarse si se considera la luz como una onda. Pueden

producirse ondas de sonido de alta frecuencia con la simple vibración de una cuerda de piano en una caja de resonancia pobremente construida que permita la transmisión de la energía a todas las cuerdas. Sin embargo, las ondas de luz que provienen de un hierro calentado al rojo incluyen muy pocas ondas ultravioletas de alta frecuencia. La explicación de esta discrepancia ("la catástrofe ultra-



violeta”) apareció en 1900 cuando Max Planck modeló la luz en términos de partículas de energía, en que la luz de alta frecuencia requeriría más energía por partícula. La frecuencia de la luz ultravioleta requeriría demasiada energía por partícula para que se produjera fácilmente.

El modelo de la luz como una partícula o cuanto de energía fue parte del desarrollo de la mecánica cuántica⁵ que también hizo muchas predicciones no intuitivas acerca del mundo físico de pequeña escala. Por ejemplo, la mecánica cuántica predijo que partículas tales como los electrones deben considerarse a veces como ondas, haciendo de esta manera imposible su exacta ubicación, y que los electrones en un átomo podían girar en órbita solamente en ciertas determinadas esferas. Desde entonces, estas predicciones han sido comprobadas. Ahora la mecánica cuántica se usa para entender los enlaces químicos, el microscopio electrónico, el láser, el transistor, el poder nuclear y la radioactividad. Pero al hacer esto, se ha incorporado algo del modelo de partículas de Newton, de hace 200 años. Hoy encontramos que la luz es considerada como una onda bajo ciertas condiciones y como una serie de partículas en otras condiciones, ya que un simple entendimiento de las ondas del agua no puede ser extrapolado a una escala extremadamente pequeña.

Análisis de estas revoluciones

En vista de estas dos revoluciones, aparecen manifiestas varias limitaciones de la ciencia:

Aun en el mundo natural falta mucha información. Hace cien años no se habían observado partículas que viajan con una velocidad próxima a la de la luz, o pequeñas partículas en el átomo o el núcleo. Siendo que la ciencia es inductiva, un modelo puede ser correcto (porque explica las observaciones actuales) sin ser completo (porque es incapaz de explicar todas las observaciones futuras o acontecimientos pasados no observados).

Faltan explicaciones de datos a nuestro alcance. La luz que proviene del sol no puede explicarse sin un medio de transmisión de la luz. La catástrofe ultravioleta no puede explicarse usando como base un modelo de onda para la luz.

Aun para las buenas explicaciones se usan simples aproximaciones (modelos). El modelo de onda de la luz era sólo una aproximación. A medida que la ciencia progresó hacia las condiciones extremas e inusitadas de altas velocidades y energías, y tamaños pequeños, diferentes leyes llegaron a ser importantes. La intuición y el razonamiento a partir de eventos diarios no fueron suficientes. La extrapolación de lo conocido y entendible a lo desconocido y extremado era útil, pero solamente aproximada.

Aunque se emplee un modelo, otros modelos son posibles. El modelo de onda para la luz funcionó bien hace un siglo; pero hoy sabemos que el modelo de partículas debe usarse para explicar ciertas observaciones.

Aunque haya habido revoluciones en las interpretaciones científicas del pasado, siempre existe la tentación de considerar que las interpretaciones actuales son tan superiores que no necesitarán ser revisadas. Sin embargo, aun en nuestros días, varias revoluciones han indiscutiblemente cambiado las perspectivas de la ciencia en forma considerable. Una rama de la ciencia a la que a veces se denomina “caos” está estudiando las observaciones de científicos que piensan que los cambios infinitesimales en las condiciones iniciales pueden cambiar completamente los resultados finales, y que puede encontrarse cierto orden más profundo en fenómenos que previamente eran considerados demasiado complejos para ser modelados.⁶ La geología ha estado incluyendo recientemente procesos inusitados y extremos, tales como la tectónica de placas para explicar la formación de montañas y crestas interoceánicas, y un impacto extraterrestre para explicar la extinción de los dinosaurios.⁷

El método científico que utiliza los experimentos para estudiar las relaciones de causa y efecto es útil y beneficioso, como obviamente indican las ventajas de nuestra sociedad tecnológica. Pero aun así no debemos olvidar que la ciencia tiene sus limitaciones porque es un esfuerzo humano. No es exhaustiva porque utiliza el método inductivo. No incluye todos los modelos posibles. No ofrece modelos completos. No presenta explicaciones completas. No abarca toda la información disponible ni da lugar a lo sobrenatural.

Benjamín L. Clausen (Ph.D., University of Colorado) es ayudante de investigación en el Geoscience Research Institute, Loma Linda, California.

NOTAS

1. Ver George Gamov, *The Great Physicists From Galileo to Einstein* (New York: Dover, 1988); ver también Edmund T. Whittaker, *A History of the Theories of Aether and Electricity* (New York: Dover, 1989).

2. Ver Nathan Spielberg y Byron D. Anderson, *Seven Ideas That Shook the Universe* (New York: Wiley, 1987).

3. Ver Bernard I. Cohen, *Revolution in Science* (Cambridge, Mass.: Harvard University Press, 1985); ver también Richard Morris, *Dismantling the Universe* (Simon and Schuster, 1984); Thomas S. Kuhn, *The Structure of Scientific Revolutions*, 2a. ed. (Chicago: University of Chicago Press, 1970).

4. Ver Clement V. Durell, *Readable Relativity* (New York: Harper and Row, 1960).

5. Ver George Gamov, *Thirty Years That Shook Physics* (New York: Dover, 1966); ver también Richard P. Feynman, *QED: The Strange Theory of Light and Matter* (Princeton, N.J.: Princeton University Press, 1985).

6. Ver James Gleick, *Chaos: Making a New Science* (New York: Penguin, 1987); ver también Kevin C. de Berg, “¿Un universo al azar? Orden y azar en la naturaleza y en la Biblia”, *Diálogo* 2:3 (1990), pp. 10-12.

7. Ver A. Hallam, *Great Geological Controversies* (New York: Oxford, 1989).