

# Percepciones del tiempo y el

**P**ocos temas de ciencia son tratados por los filósofos con la regularidad con la que se abordan los conceptos de tiempo y espacio. Seguramente tiene que ver con el hecho de que nos son propios a todos. Nadie escapa a su uso cotidiano y si se le pregunta a (casi) cualquiera sobre lo que significan, responderá que sí, desde luego. Pedir que lo ponga por escrito es otro asunto, pues fácilmente se percibe que las definiciones son escurridizas, vagas o circulares. La dirección en la que afinará una idea más precisa dependerá de lo que hace la persona.

Es en el uso cotidiano de espacio y tiempo donde caben nuestras intuiciones sobre cada uno de ellos. El primero, como el escenario o foro en el que están las cosas que son, naturales o abstractas; el “continente”, se dice. En cuanto al tiempo, es el cambio el elemento sustantivo; sin variaciones no hay tiempo o éste no “transcurre”, no fluye. Ciertamente se puede revisar diccionarios o enciclopedias para hallar acepciones que confirmen lo que uno ya entiende o cree saber. El problema será que incluyan cada uno de los aspectos de nuestras experiencias.

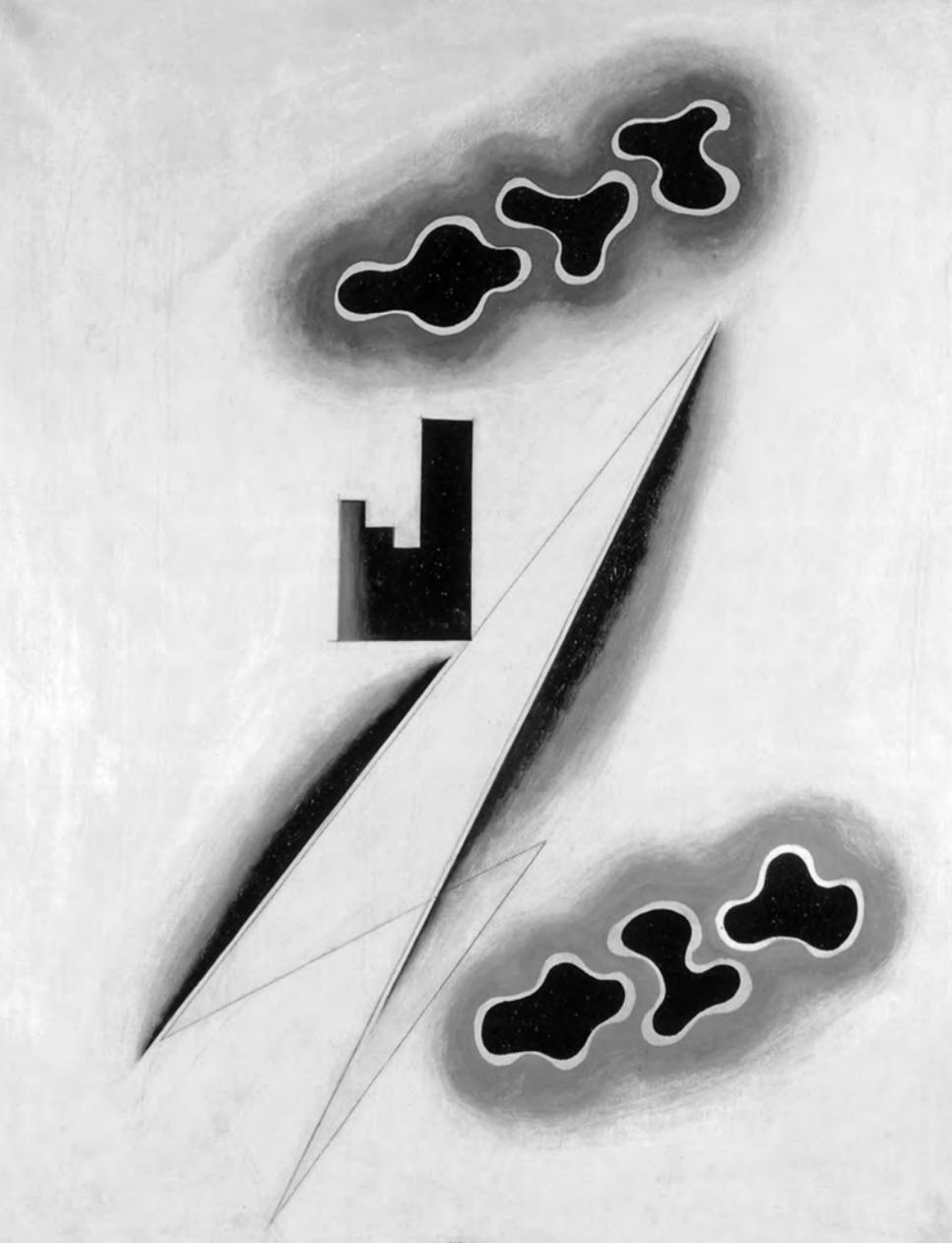
Está el punto de vista metafísico. Hay que leer a algunos de los pensadores que han escrito a lo largo de la historia para apreciar las dificultades de



**Ramón Peralta y Fabi**

# espacio en las ciencias naturales





ser claro y preciso. Cuando se recurre a la *Física* de Aristóteles (384-322 a.C.), habiéndose perdido más de 80% de lo que presumiblemente escribió, uno se da cuenta qué tan lejos está de quienes nos interesamos en el tema desde las ciencias naturales; lo único que la física moderna conserva de Aristóteles es la palabra "física". Algo semejante ocurre si se van revisando distintas construcciones de estos conceptos en lo escrito por otros autores igualmente distinguidos, pasando por el poema de Tito Lucrecio Caro (99-55 a.C.), en el que resume para los latinos la cultura helénica, o más de mil años después por Im-

manuel Kant (1724-1804), y doscientos más tarde en Martin Heidegger (1889-1976), por citar algunos; a los científicos poco o nada nos aportan.

En las ciencias naturales, como la biología, la química y la física, el tiempo y el espacio son parte esencial, aunque cabe decir, pocas veces son definidos, aclarados o analizados con cuidado. Por otro lado, como parte de la formación científica se hace referencia a las formas de medir uno u otro, y a las muy diversas escalas de ambos, dependiendo de los fenómenos de interés.

Las escalas de tiempo en la biología varían de los miles de millones de años

( $10^6$  segundos;  $10^2 = 100$ ,  $10^4 = 10\,000$ ,...), cuando se estudian vestigios primordiales (fósiles) en el contexto del origen de la vida, hasta los diezmilésimos de segundo ( $10^{-4}$ s;  $10^{-3} = 1/1\,000$ ,  $10^{-6} = 1/1\,000\,000$ ,...), en los que ocurren procesos celulares o bioquímicos, como el doblamiento de proteínas o la replicación parcial de un ácido ribonucleico. Los "relojes" correspondientes a estas escalas son igualmente diversos.

En cuanto al espacio, se acepta implícitamente la noción clásica del "foro inerte" o absoluto en el que las cosas se dan u ocurren. Pero dentro de éste, hay un espacio que tiene un sentido biocéntrico, en tanto que se percibe como el entorno inmediato que circunda a un ser vivo o a una colectividad de éstos, un nicho ecológico. Este escenario interacciona con los "actores", modificándose mutuamente; la ecología y las discusiones sobre el cambio climático comparten este fondo. Las escalas espaciales no tienen el intervalo de las temporales y también son biocéntricas: de kilómetros (ecosistemas) a nanómetros (virus, de vida debatible).

En química también se presume un tiempo y un espacio con carácter absoluto. Es decir, los elementos y los compuestos, junto con los procesos que conciernen a la reactividad, esencial en esta disciplina, suceden igual en cualquier momento (invariancia en el tiempo) y la ubicación es irrelevante (invariancia traslacional), en tanto que se cuiden las condiciones de reproducibilidad, como presión, temperatura, etcétera. Las escalas espaciales barren desde las atómicas ( $10^{-8}$ m) a las industriales, mientras que las temporales se extienden por muchos órdenes de magnitud: de femtosegundos ( $10^{-15}$ s) que duran ciertas reacciones químicas, y se miden con láseres pulsados, hasta las geológicas, típicas de los procesos de formación de

rocas y estructuras cristalinas gigantes ( $10^{14}$ s).

En física, los conceptos de espacio y tiempo son una parte íntima de la infraestructura, de su entramado más fundamental, y la revisión de éstos, innecesaria en las otras ciencias naturales, ha llevado a transformaciones esenciales.

Desde las primeras teorías de la física, como los trabajos de Galileo Galilei (1564-1642) y de Isaac Newton (1643-1727), el espacio y el tiempo tienen un sentido absoluto. El primero, práctico, los supone evidentes y construye las formas de medirlos, diseñando relojes y patrones de longitud. Así, mejora la clepsidra egipcia, ya asimilada en la cultura latina, que mide tiempos en función del goteo de una vasija bien calibrada, y descubre la isocronía de los péndulos, cuyo periodo de oscilación sólo depende de su longitud y no del material, tamaño de la lenteja que pende o de otras cosas, en tanto que los ángulos iniciales no excedieran  $20^\circ$ . En la obra cumbre de Newton, *Principia*, se hace la hipótesis implícita de que tanto el tiempo como el espacio tienen este carácter. Gottfried W. Leibniz, en el terreno metafísico e involuntariamente usando a un conocido común, entabla con Newton un debate más sobre tales conceptos. Mientras este último parece imaginarlos como algo absoluto y casi

material y tangible, Leibniz introduce un aspecto "relacional", dándoles más valor en función de los objetos circundantes que por su ubicación o duración. Esta discusión, irrelevante para la física, es tal vez la única hasta los inicios

del siglo xx, en que se modificó de fondo el fino entretejido de la física.

Albert Einstein (1879-1955), al revisar los fundamentos de la mecánica de Newton y del electromagnetismo propuesto por James C. Maxwell (1831-1879), y con la información de ciertos experimentos cruciales, formuló la teoría de la relatividad especial en 1905. En ella, el espacio y el tiempo pasan a ser uno, articulados en un espacio nuevo de cuatro dimensiones y con el límite de que ninguna señal o movimiento puede exceder la velocidad de la luz, reconocida desde entonces como una constante universal. En paralelo, se iba erigiendo una nueva teoría del átomo, sus componentes y sus comportamientos; como en la relatividad, las cosas dejaban de ser intuitivamente claras, subsistiendo en ambas teorías el tiempo y el espacio como testigos inertes.

Para 1916, Einstein había concluido su más profunda revolución intelectual.

En su teoría de la relatividad general se modificaba la esencia misma de la física, en tanto que el espacio-tiempo se convertía en un ente dinámico que cambiaría con los fenómenos naturales. El foro espacio-temporal deja-

ba de ser fijo ante los actores para ser uno más de los participantes, cambiando con ellos y retroalimentándose unos a otros. Ahora, las masas y su dinámica evolucionan cambiando el tiempo y el espacio, que a su vez les afecta. Como metáfora, semeja la imagen ecológica. Einstein buscó durante el resto de su vida una manera de hacer ambas teorías compatibles, es decir, construir lo que se llama la teoría unificada del campo, referida a los campos gravitacionales y cuánticos.

Una parte de la estrategia fue el desarrollar la física cuántica de modo que la relatividad especial se pudiese incorporar, permitiendo que las partículas cargadas, por ejemplo, fueran descritas adecuadamente. El primer éxito, relativamente inmediato, fue la teoría de Dirac para los electrones. Con el paso de las décadas y muchos premios Nobel más, la teoría se convirtió en la electrodinámica cuántica y a la versión actual se le llama modelo estándar. Toda la dinámica de las partículas elementales, en términos de elementos más primarios, como los cuarks y los gluones, está descrita por esta teoría y sus bases experimentales son sólidas y aceptadas por la comunidad; esto no quiere decir que esté libre de problemas, de verificaciones pendientes y de suposiciones necesarias, cuyas justificaciones estén por encontrarse, si las hay. Aun incompleta, es sin duda

la teoría fundamental más completa que se ha elaborado en la historia de la física. Pero sigue siendo incompatible con un foro cambiante, con la gravedad. La búsqueda para hallar una forma de integrar gravedad y cuántica sigue intensa, e infructuosa. Es in-



interesante saber que las observaciones o los experimentos han llegado a tales grados de precisión, que es difícil saber qué teoría está mejor apoyada experimentalmente; el modelo estándar tiene predicciones confirmadas hasta en once cifras significativas, lo que es extraordinario; la relatividad general, por ahora, va un poco más allá gracias a observaciones efectuadas a lo largo de más de veinte años, ya con catorce cifras significativas.

Una opción es que una de las dos teorías básicas, la relatividad general o el modelo estándar, esté equivocada o requiera una modificación importan-

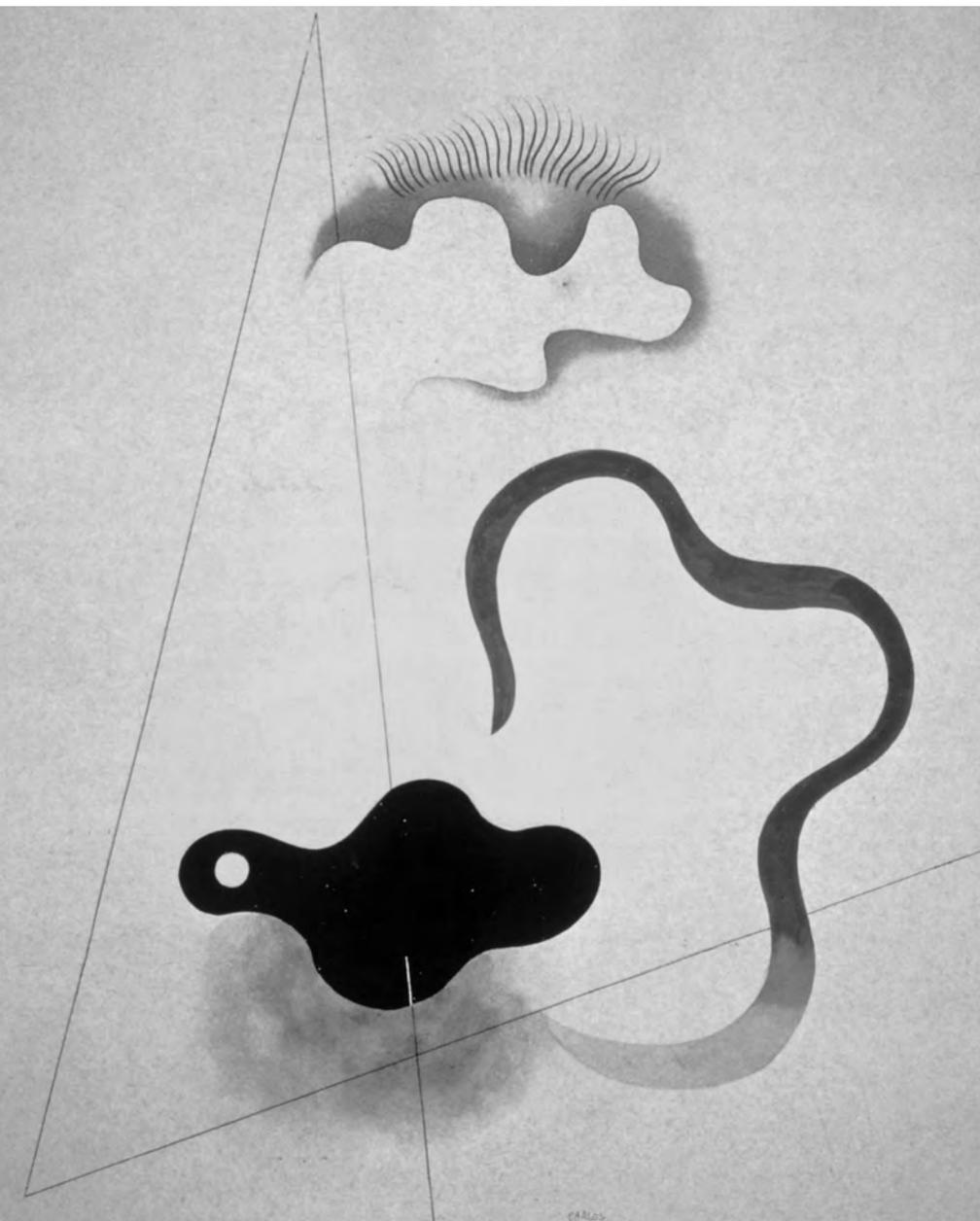
te; la llamada materia oscura y la energía oscura constituyen un problema para la física hoy conocida y podrían llevar a cambios estructurales en una de ellas o en las dos. Otra opción es que ambas teorías sean la manifestación de una teoría más general, que las englobe, las unifique. En este sentido, hay verdades muy diversas, pero principalmente dos teorías, las cuerdas y los lazos, y son las opciones con mayor número de investigadores activos en el mundo, sobre todo la primera.

La teoría de cuerdas fue por varias décadas la parte más efervescente de la física. Una teoría elegante y “simple”

que fue creciendo y haciéndose cada vez más abstracta. Por más tiempo de lo que es saludable fue moda; las dimensiones extras “necesarias” (nueve como mínimo) y sus “compactificaciones”, las supersimetrías, las supercuerdas, las branas o las conjeturas de la teoría M, de Maldacena, o la de Witten, son parte del lenguaje de los iniciados y del proyecto que esa teoría representa. Por cerca de treinta años ha sido incapaz de tener los elementos básicos de lo que los físicos han hecho por cerca de 400 años; es decir, sobre una base experimental, hacer hipótesis y formar un *corpus* —en lenguaje matemático— que pueda identificarse, analizarse y manipularse para hacer alguna predicción experimental; nada de esto ha ocurrido. Actualmente puede decirse que son un conjunto de especulaciones que, con una intensa producción de artículos —más de 50 000 en dos décadas— y de recursos, empieza a perder credibilidad; hoy, como teoría física, está hueca.

La teoría de lazos aún está en desarrollo y no hay certeza de que sea el camino correcto, si es que éste existe. No es la única opción restante, pero los caminos se angostan y se mira distante la gran unificación. El trasfondo es, por supuesto, el papel del tiempo y del espacio.

No se ha encontrado una forma de “cuantizar” las ecuaciones de Einstein, ni de incorporar un espacio-tiempo dinámico en la teoría cuántica. En todo caso, habría que decir que los intentos han dado pie a resultados con soluciones múltiples o que no pueden ser físicamente plausibles. Por ejemplo, se ha planteado que el espacio-tiempo tiene una escala mínima —cuantizándose el foro— de modo que deja de ser continuo, generando escalas temporales y espaciales discretas. Los actores ya no pueden ocupar cualquier rincón del





escenario, ni estar “presentes” todo el tiempo. En otro enfoque, la curvatura es un efecto cuántico; el espacio-tiempo es plano, si no se llega a escalas muy pequeñas, como cuando inició el universo con la gran explosión, o si las densidades no son demasiado altas, como en un hoyo negro.

Cabe mencionar que un tiempo “natural” que aparece en la física es  $t_p$ , el “tiempo de Planck”, resultado de una combinación única de tres constantes fundamentales de la naturaleza; a saber,  $t_p = (Gh/c^5)^{1/2}$ , siendo  $G$  la constante de la gravitación universal,  $c$  la velocidad de la luz y  $h$  la constante de Planck; el valor numérico de  $t_p$  es  $1.35 \times 10^{-43}$ s, lapso difícilmente imaginable en su pequeñez. ¿Tiene sentido hablar de tiempos más cortos?, ¿son detectables? o ¿son relevantes en algún contexto? Las respuestas son que tal vez no, no y sí, respectivamente. Las limitaciones impuestas por la física cuántica sugieren que, en tiempos tan cortos, la energía involucrada excede todos los procesos conocidos, salvo en la gran explosión, donde la gravedad cuántica (de haber-

la) debería entrar en juego; así, este tiempo podría ser una cara de la textura más fina posible del tiempo en el “quantum del espacio-tiempo” aludido anteriormente. La longitud correspondiente a  $t_p$  es  $\lambda_p$ , también una combinación única de las constantes fundamentales  $\lambda_p = (Gh/c^3)^{1/2}$ , llamada longitud de Planck, y cuyo valor numérico es  $4.05 \times 10^{-35}$ m; se interpreta como la distancia que recorre la luz en el tiempo de Planck. Longitudes más cortas se enfrentan también a los límites de la física cuántica.

Así, el problema de la gravedad cuántica subsiste y nos reta, tal vez para siempre. La visión reduccionista, en la que se busca una teoría que todo lo incluya y aparece la “ecuación de universo”, es una quimera. En cada escala hay fenómenos emergentes en los que poco o nada tienen que ver los detalles de las otras escalas, mayores o menores. Creer que se pueden explicar todas las cosas a partir de unas cuantas suposiciones (leyes) es, o debiera ser, parte del pasado. Sí, por supuesto, se han ido descubriendo leyes naturales

que parecen cumplirse a cabalidad, en su “zona” de influencia, y se esperaría que no fueran contradictorias entre ellas, como hoy lo son. Si la aritmética es incompleta de manera esencial, por la física, mi pasión profesional, apostaría mucho menos.

Confieso que nunca escuché una discusión formal, asociada a un curso o a una conferencia profesional, sobre el tiempo y el espacio; parte es, desde luego, que no cursé Relatividad general, donde se le debe dar algún sentido a las ecuaciones de Einstein, algo que debería hacerse en cualquier curso que atienda el movimiento. En general, la educación del físico no aborda los aspectos fundamentales y más profundos de nuestra ciencia; se cae fácilmente en la parte metodológica, de cálculo o de instrumentación, antes que abordar la de interpretación previa y posterior al análisis, el que sea. Fomentar la lectura del sustento conceptual de la física, de la reflexión sobre las ideas y la escritura, no es un tema que se atienda en la formación científica.

Tiempo y espacio son pues conceptos de la filosofía, de la ciencia y de la vida cotidiana, inagotables en su diversidad y versatilidad. Se seguirá leyen-



do y escribiendo sobre estos temas, con la expectativa de disipar un poco las dudas que hay, localizadas en particularidades, cuando no en los pilares mismos de una disciplina, como sucede en la física.

En el fondo, se trata de seguir con la interminable tarea de hacer el universo inteligible, alejando el pensamiento débil que solicita intervenciones divinas donde no hace falta, que nubla la vista y desarticula un exitoso quehacer que lleva ya cientos de años.

La educación es la tarea central en una sociedad como la nuestra, como la latinoamericana, o la de todas las sociedades con atraso en su desarrollo. Eliminar la injusticia y la desigualdad requiere como condición necesaria, sin que sea suficiente, la educación.

Cuando la arrogancia de pretender entenderlo todo, o de creer que se tiene un diálogo con un ser que todo lo trasciende, haya desaparecido —lejana esperanza—, se contará con la humildad para apreciar el lugar inconspicuo

que ocupamos en el universo. Deambulamos alrededor de una estrella común y corriente, como la mayoría de las que se miran con asombro en una noche constelada, y dicha estrella está en una parte alejada dentro de una galaxia espiral, la Vía Láctea, que gira sobre sí misma y se dirige hacia otra con la que —dentro de millones de años— habrá de colisionar para formar una nueva. Ambas son como las otras millones de galaxias que navegan en el firmamento de nuestras noches. 



**Ramón Peralta y Fabi**  
Facultad de Ciencias,  
Universidad Nacional Autónoma de México.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aristóteles. 184 a.C. *Física*, Libro 5. Trad. U. Schmidt Osmanczik. UNAM, México, 2001.  
Berenzon, B. y G. Calderón (eds). 2008. *Diccionario Tiempo Espacio*. UNAM, México.  
El Colegio de México. 2009. *Diccionario del español usual en México*. Colmex, México.

Einstein, A. 1922. *The Meaning of Relativity*. Princeton Science Library, Nueva Jersey.  
Lucrecio Caro, Tito. 99 a.C. *De la natura de las cosas* Libro I. Trad. R. Bonifaz Nuño. UNAM, México, 1984.  
Hawking, S., 1985. "The arrow of time in cosmology", en *Physical Review D*, vol. 32, núm. 10, pp. 2489-2495.  
\_\_\_\_\_ y Penrose, R. 1996. *The Nature of Space and Time*. Princeton Science Library, Nueva Jersey.  
Kant, Immanuel. 1781. *Crítica de la razón pura*. Ed. Libertador, Buenos Aires, 2008.  
Martin Heidegger. 1954. *Filosofía, ciencia y técnica*, Trad. F. Soler y J. Acevedo, Ed. Universitaria, Santiago de Chile, 2007.  
Newton, I. 1687. *The Principia (Philosophiae Naturalis Principia Mathematica)*. Trad. A. Motte. Prometheus Books, Nueva York, 1995.

Peralta y Fabi, R. 2010. "El entramado del Universo", en *Los elementos del tiempo y el espacio*. Berenzon, B. y G. Calderón (eds.). UNAM-IPCH-CONACYT (en prensa).  
Smolin, L. 2006. *The Trouble with Physics: The Rise of String Theory, The Fall of a Science, and What Comes Next*. Mariner Books, Boston.

IMÁGENES

Pp. 58-59: Diego Rivera, *Naturaleza muerta (El despertador o Reloj despertador)*, 1914. P. 60: Carlos Mérida, *Oasis*, 1936. P. 61: Germán Cueto, *Máscaras III*, 1924. P. 62: Carlos Mérida, *Transparencias de la memoria*, 1936. P. 63: Diego Rivera, *El puente de San Martín*, 1913; Jesús Escobedo, *Paisaje*, ca. 1929. P. 64: Alfonso Michel, *El adiós*, ca. 1944. P. 66: Carlos Mérida, *El pascola y el venado (Danza del venado)*, 1935.

PERCEPTIONS OF TIME AND SPACE IN THE NATURAL SCIENCES

Palabras clave: tiempo, espacio, escala, medición.  
Key words: Time, Space, Scale, Measurement.

**Resumen:** Las nociones de tiempo y espacio dadas por los filósofos y pensadores a lo largo de la historia son en mucho distintas a las empleadas hoy por las ciencias naturales, sin embargo, la definición y medición de estas dos variables sigue siendo imprecisa.

**Abstract:** The notions of time and space put forth by philosophers and thinkers throughout history differ greatly from those used today in the natural sciences; however, the definition and measurement of these two variables remains imprecise.

Ramón Peralta y Fabi es Doctor en Ciencias en el área de dinámica de fluidos y física estadística, pionero en la docencia e investigación en estos campos. Fue director de la Facultad de Ciencias de la UNAM.

Recibido el 13 de diciembre de 2010, aceptado el 10 de enero de 2011.