



## NATURALIS

BOLETÍN DEL DEPARTAMENTO DE  
FÍSICA GENERAL Y QUÍMICA

No. 3

agosto de 2004

DIVISIÓN DE CIENCIAS BÁSICAS



### **“¿QUÉ ES EL TIEMPO?”**

*Todo parece indicar que el tiempo corre inexorablemente,  
del pasado inmutable hacia el incierto futuro, pasando  
por el presente tangible. Pero eso es mera ilusión.*

*Paul Davies*

San Agustín de Hipona, famoso teólogo del siglo V señalaba que sabía qué era el tiempo, hasta que alguien se lo preguntaba. Entonces le hacían falta palabras para explicarlo. Algo similar nos sucede a los profesores de física, cuando nuestros alumnos nos hacen tan "inocente" pregunta. Y es que, como tenemos una sensación psicológica del tiempo, las definiciones de éste basadas en la física llegan a parecernos áridas e inadecuadas. Podría decirse que, en la física, el tiempo es simplemente lo que miden los relojes, y en la matemática, es un espacio unidimensional, que por lo general se supone continuo.

El hecho de que el tiempo pueda tratarse como una cuarta dimensión no significa que sea idéntico a las tres dimensiones del espacio. El espacio y el tiempo intervienen en la vida cotidiana y en la teoría física de manera distinta. Tan es así que, el cálculo de las distancias espaciotemporales no es el mismo cálculo que el de las distancias espaciales. La distinción entre espacio y tiempo subyace bajo la importante noción de causalidad y esto impide que causa y efecto se entremezclen.

Arturo Rosenblueth describe con acierto, en su libro *Mente y Cerebro*, uno de los postulados científicos que se han adoptado en la ciencia. Según éste, existen regularidades en la sucesión temporal de los fenómenos que ocurren en el universo material y hay características que son mensurables

en los sistemas materiales relativamente aislados cuando están en equilibrio. Éste es el postulado del determinismo o de la causalidad, y según él, es posible predecir los estados futuros de un sistema si se conocen en un momento dado las condiciones de los elementos que lo constituyen.

### **La flecha del tiempo.**

Cuando decimos que el tiempo pasa nos referimos a toda una experiencia: el pasado es distinto del futuro. La dimensión única que tiene el tiempo, a diferencia de las tres del espacio, manifiesta una esencia distinta según el sentido en que se le mire. El sentido o posición que le asignemos a las dimensiones del espacio es totalmente relativo: distinguir entre adelante y atrás, arriba y abajo, o izquierda y derecha, es útil y necesaria; sin embargo no deja de ser una convención. La diferencia fundamental entre pasado y futuro le impone al tiempo una dirección, así como la punta se la da a una flecha.

El conocimiento científico confirma la direccionalidad del tiempo en una amplísima variedad de fenómenos; en todo lo que tiene historia o muestra evolución, la flecha del tiempo existe. Para resumir este hecho, la ciencia hace distinción entre dos tipos de fenómenos naturales: los reversibles y los irreversibles. En los irreversibles, la manifestación de la flecha del tiempo nos indica que, cuando ellos ocurren, siempre habrá algo en la situación final que permitirá distinguirla de la situación inicial.

Podremos ver que un huevo que caiga al suelo se rompa, pero no veremos nunca el proceso inverso; es decir, que el huevo roto se recomponga espontáneamente en un huevo entero. En la naturaleza abundan los procesos físicos irreversibles, por lo que la segunda ley de la termodinámica cumple una función principal en el ámbito de los seres humanos: impone una asimetría tajante entre las direcciones del eje del tiempo hacia el pasado y hacia el futuro; por convención la flecha del tiempo apunta hacia el futuro. Esto último no implica que la flecha se

mueva hacia el futuro, de la misma manera que una brújula que apunta hacia el norte no implica que ésta se mueva hacia allá.

La flecha del tiempo denota una asimetría del mundo en el tiempo, no una asimetría o flujo del tiempo. Los epítetos "pasado" y "futuro" pueden aplicarse a las direcciones temporales, de igual manera que "arriba" y "abajo" pueden aplicarse a las posiciones espaciales. La distinción de estar en "pasado" o estar en "futuro" queda ilustrado si imaginamos una película, en la cual registramos el huevo que cae y se rompe en el suelo. Si la película se proyectara hacia atrás, todos juzgarían que la secuencia es irreal; aún más, si cortáramos la película en fotogramas, luego de barajarlos, casi cualquier persona podría volver a colocarlos en orden hacia "adelante" o hacia "atrás". Este ordenamiento retiene la asimetría implícita de la flecha del tiempo porque forma una secuencia ordenada, lo que prueba que la asimetría del tiempo es en realidad una propiedad de los estados del mundo y no una propiedad del tiempo en sí. No es necesario pasar la película para discernir la flecha del tiempo.



### **Los procesos reversibles.**

Una de las primeras sacudidas a la sólida estructura del determinismo (causalidad) la proporcionó la conocida teoría cinética de los gases, desarrollada por J. C. Maxwell y luego perfeccionada por L. Boltzman y termina de colapsarse con la aparición de la teoría de la mecánica

cuántica, en particular con el principio de incertidumbre de Heisenberg, el cual postula que no se puede medir al mismo tiempo la posición y la velocidad de una partícula. De acuerdo con Heisenberg, el macroorden de la naturaleza dependería del microcaos de los procesos que ocurren en las partículas elementales de la materia. Así, a pesar de la irremediable presencia de la flecha del tiempo, los científicos han descubierto un nivel de acontecimientos donde el tiempo parece "fluir" de igual modo en un sentido que en su opuesto: el de los fenómenos microscópicos. En el mundo de los átomos y las moléculas no hay procesos irreversibles: ahí son posibles todas las historias, sin importar su sentido. A ese nivel no hay historia ni evolución: por cada fenómeno con un pasado y un futuro, hay otro que los tiene invertidos y que es igualmente posible. Ya en los inicios de la mecánica cuántica se apreció que el tiempo entra en la teoría de una manera específica, bastante diferente de lo que ocurre con el espacio. El principio de indeterminación (incertidumbre) de Heisenberg, según el cual la naturaleza es inherentemente indeterminada, implica un futuro y un pasado abiertos. Este indeterminismo se manifiesta a una escala de tamaños atómica y dicta que las propiedades observables, que caracterizan un sistema físico, en general no están determinadas en el paso de un momento a otro.

Por ejemplo, un electrón que incida sobre un átomo puede rebotar en una dirección de entre muchas posibles, pero normalmente es imposible predecir con antelación cuál será el resultado en cualquier caso específico. El indeterminismo cuántico implica que, para un estado cuántico particular, existen muchos futuros alternativos o realidades posibles, pero no indica cuál de ellos se hará real. Ahora bien, cuando un observador humano realiza una medición del fenómeno, obtendrá un resultado y sólo uno; el acto de medición proyecta, de entre un vasto conjunto de posibilidades, una realidad específica y particular. En la mente del observador, lo posible realiza una transición a lo real, el futuro abierto al pasado fijo, que es precisamente lo que queremos expresar con el paso del tiempo.

Esta reversibilidad de los procesos microscópicos plantea una cuestión esencial de la ciencia contemporánea: ¿cómo pueden coexistir ambos niveles?, ¿por qué el tiempo no tiene punta de flecha en el reino microscópico y sí la tiene en el mundo macroscópico? ¿cómo es posible que el todo de un cuerpo tenga una propiedad no sólo distinta, sino contraria a la de sus partes?

La clave del enigma parece centrarse en lo innumerable de las partes que componen un cuerpo microscópico. Hace muchos años, Henry Poincaré creó el equivalente científico del mito del eterno retorno: cualquier sistema que siga las leyes de la mecánica newtoniana siempre regresará a su situación original. Este teorema de Poincaré al parecer relega la flecha del tiempo a una mera ilusión. Aquí hay que aclarar que el tiempo que tarda un sistema en regresar a su estado original aumenta enormemente al tomar sistemas cada vez más grandes. Por ejemplo, un sistema o un cuerpo a escala humana tardaría más tiempo en retornar a su estado original, que todo el tiempo que ha transcurrido desde el "Big Bang" que dio origen a nuestro universo; según estas ideas, la irreversibilidad ocurre de manera transitoria, sólo que su duración es larguísima.

### **Pero, ¿qué es el tiempo?**

Dado que la mayoría de los análisis físicos y filosóficos del tiempo no son capaces de poner de manifiesto signo alguno de flujo temporal, nos quedamos envueltos en un halo de misterio. ¿A qué deberíamos atribuir la profunda y universal impresión de que el mundo se encuentra en un continuo estado de flujo? Algunos investigadores, de entre los que destaca Ilya Prigogine, ganador del premio Nobel de química en 1977, han sugerido que la sutil física de los procesos irreversibles convierte el flujo del tiempo en un aspecto objetivo del mundo, pero Paul Davies y otros, piensan que se trata de algún tipo de ilusión. Esta ilusión demanda una explicación, que tal vez deberá buscarse en la psicología, la neurofisiología y quizás en la lingüística o la cultura. La ciencia apenas si

ha comenzado a considerar la cuestión de nuestra percepción del paso del tiempo; sólo podemos especular cuál es la respuesta.

Después de todo, no observamos realmente el transcurso del tiempo. Lo que observamos es que, los estados más recientes del mundo difieren de los estados previos que todavía recordamos. El hecho de que recordemos el pasado y no el futuro, es una observación no del transcurso del tiempo sino de la asimetría temporal. Sólo el observador consciente registra el paso del tiempo. Un reloj mide duraciones entre sucesos, en tanto que una cinta métrica mide distancias entre lugares; ninguno mide la "velocidad" con la que a un momento le sucede otro. Resulta pues, manifiesto, que el flujo del tiempo es subjetivo, no objetivo.

No obstante lo que hasta aquí he mencionado, que me ha permitido realizar a "vuelo de pajarero" un recorrido por la física clásica que se estudia en nuestra Facultad y por temas de la física moderna, que deberíamos incluir en algún o en algunos cursos, no me ha sido posible contestar en forma concisa a la pregunta aquí formulada; si alguien considera tener una respuesta adecuada a la misma, le ruego sea tan amable de hacerla del conocimiento de la comunidad.

*Ing. Martín Bárcenas Escobar (martin\_b\_e@yahoo.com.mx)*

*Prof. de Carrera Titular "A" de Tiempo Completo en el Área de Física General  
de la Facultad de Ingeniería de la UNAM*

#### **REFERENCIAS**

- "La flecha del tiempo", Paul Davies, Investigación y Ciencia, edición española de Scientific American, Noviembre de 2002, pp. 8-13.
- "Cosas de la Ciencia", Del Río F. y Máximo L., Colección La ciencia para todos, FCE,SEP y CONACYT, 3ª ed., México 2003.
- "La Ciencia del Caos", Shifter Isaac, Colección La ciencia para todos, FCE,SEP y CONACYT, 2ª ed., México 2000.
- "El fin de las certidumbres", Ilya Prigogine, Ed. Andrés Bello, Argentina 1999.

## “¿QUÉ ES EL NAPALM?”

En su guerra de agresión contra el pueblo vietnamita, los norteamericanos emplearon varios tipos de proyectiles incendiarios, entre los cuales merecen especial atención las bombas de napalm. Estas fueron utilizadas por la aviación de Estados Unidos durante la Segunda Guerra Mundial, y también en su agresión a Corea (1950-1953); las tropas colonialistas francesas, en sus empresas bélicas contra los vietnamitas, usaron en forma brutal las bombas de napalm suministradas por los norteamericanos.

La gelatina de napalm se debe principalmente al científico norteamericano Louis F. Fieser, y fue fabricada por primera vez en 1942. Durante los últimos años de la Segunda Guerra Mundial se empleó el napalm contra ciudades japonesas en cantidades que llegaron a más de 125,000 kilogramos diarios. Estos bombardeos causaron un número mucho mayor de muertes que las explosiones nucleares de Hiroshima y Nagasaki.

Contra los 14 millones de habitantes del sur de Vietnam, Estados Unidos realizó, en seis semanas del otoño de 1966, una cantidad de bombardeos equivalente a los 15,000 emprendidos durante la guerra contra Japón, y esos asaltos, en gran parte, consistieron en descargas de bombas incendiarias de napalm sobre los vietnamitas y sus aldeas.

**Composición química del napalm.-** La voz *napalm* se deriva de **Na** (símbolo químico del sodio) y **Palm** (abreviatura de palmitato). Algunos autores sostienen, sin embargo, que Na proviene de naftenato, uno de los ácidos grasos esenciales del napalm. El napalm es una sustancia inflamable, compuesta fundamentalmente de gasolina y jabones de aluminio, fabricados a partir de sales de aluminio [hidróxido:  $\text{Al}(\text{OH})_3$  o sulfato:  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ ], y ácidos grasos orgánicos, como el aceite de palma, ácido nafténico y ácido oleico. Estos jabones de aluminio, mezclados con gasolina durante el tiempo adecuado, tienen la propiedad de transformar el

combustible ordinario en una especie de gelatina, a la cual se le denomina napalm. Es posible utilizar napalm puro a base de gasolina, pero casi siempre, para acrecentar sus propiedades devastadoras, se mezcla la gasolina con magnesio, aluminio, nitrato de bario, o sus derivados. De esta manera se logra elevar la temperatura de ignición desde 800 [°C] hasta casi 2,000 [°C]. Es así que, añadiendo al napalm un metal ligero (sodio por ejemplo) la mezcla puede inflamarse por sí sola, incluso en el agua o en la nieve (a esta mezcla se le llama super-napalm).

**Propiedades del napalm.-** El napalm provoca graves incendios que se propagan con rapidez y hacen arder cualquier sustancia con la que esté en contacto (incluido el hierro y el acero de los armamentos). No arde por acción propia, pero es altamente inflamable al contacto con el fuego. Cuando entra en ignición, su llama puede levantarse hasta 4 ó 5 metros; se adhiere fácilmente, incluso a objetos lisos o a la piel humana. En ésta, arde sin llama por mucho tiempo, de modo que siempre causa quemaduras. Cuando se inflama despide un humo negro muy denso que contiene monóxido de carbono (CO) en alta concentración y es, por consiguiente, muy tóxico. Al caer en el agua, el napalm flota y sigue ardiendo, por lo que, difícilmente se extingue por efecto de ella. Para extinguir un fuego causado por el napalm, no se debe recurrir al agua, ya que ésta puede avivarlo aún más. El uso de arena o barro es recomendable. También es conveniente, si se cuenta con esa posibilidad, emplear una solución de fosfato dihidrógeno de amonio ( $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ ) al 45 ó al 50%. Esta solución, al descomponerse en amoniaco ( $\text{NH}_3$ ) y ácido fosfórico ( $\text{H}_3\text{PO}_4$ ), puede extinguir la llama con gran rapidez.

El napalm puede emplearse en bombas incendiarias, cohetes, minas, granadas o lanzallamas. En estos últimos, la proporción de gasolina varía entre el 95 y el 97%, mientras que en las bombas oscila entre el 92 y el 96%, y apenas entre el 87 y el 94 % en los obuses incendiarios.



Las quemaduras debidas al napalm son mucho más graves que las comunes. El índice de mortalidad registrado es muy alto (35% en el mismo sitio del incendio y 21.8% en los hospitales). Por otra parte, el napalm, como se adhiere al cuerpo, produce en él quemaduras difíciles de extinguir. A pesar de que la quemadura casi nunca abarca más del 10% de la superficie total del cuerpo, a menudo va acompañada la lesión física de una fuerte conmoción, especialmente debida a los dolores intensos que producen las quemaduras y a los gases venenosos inhalados en los incendios.



*"Niños escapando de las bombas de napalm"  
Huynh Cong, Tran Bang, Vietnam, 1972*

En 15 de cada 100 casos el napalm quema penetrando hasta los huesos. Sus gotas esparcidas por la superficie del cuerpo producen quemaduras redondas, que tienen un punto necrótico en el centro y una inflamación edematosa alrededor de éste. La necrosis se extiende con rapidez durante las horas y los días siguientes, se infecta fácilmente y tarda mucho en desaparecer.

*Dr. Rogelio Soto Ayala*

*Prof. de Carrera Titular "A" de Tiempo Completo en el Área de Física General  
de la Facultad de Ingeniería de la UNAM*

#### REFERENCIA

- "NAPALM"; John Takman y otros; Biblioteca Breve de Bolsillo; Editorial Seix Barral, S. A. 1968.

## REFRACCIÓN EN INTERFASES PLANAS

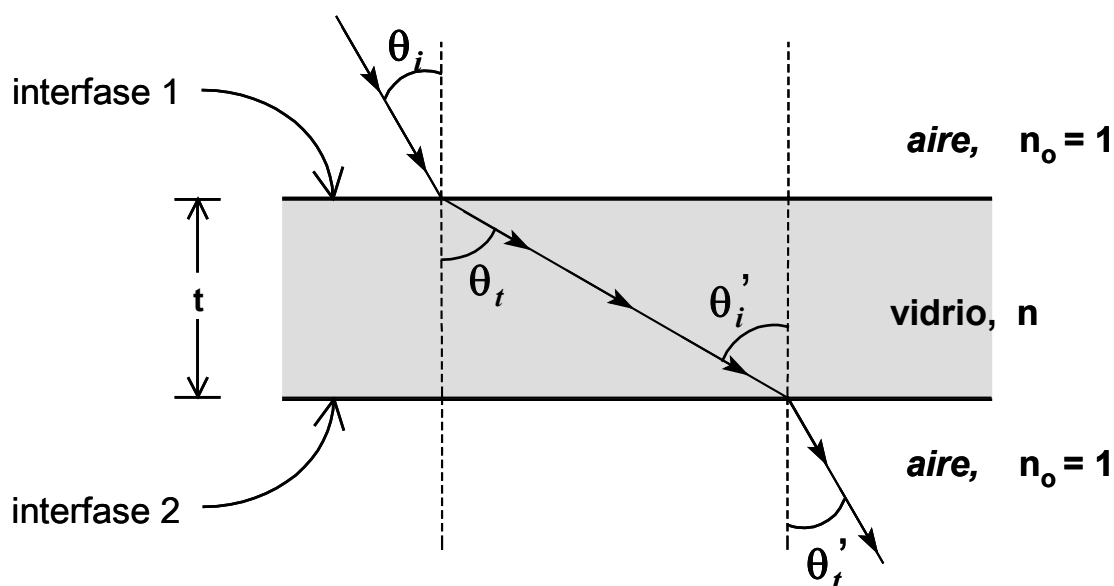
Uno de los objetivos de la práctica № 12 de Física Experimental del tema de Óptica Geométrica: obtener los modelos gráfico y matemático del seno del ángulo de transmisión ( $\text{sen } \theta_t$ ) en función del seno del ángulo de incidencia ( $\text{sen } \theta_i$ ) en un medio translúcido.

A continuación se presentan las demostraciones de dos modelos matemáticos de utilidad en el desarrollo de la práctica.

- Demostrar que un rayo de luz que incide sobre una placa de vidrio, de grosor  $t$  e índice de refracción  $n$ , con un ángulo de incidencia ( $\theta_i$ ), saldrá de ella con el mismo ángulo ( $\theta_t'$ ).
- Obtenga un modelo matemático representativo de la desviación "x" con la cual el rayo de luz sale del otro lado de la placa citada en el inciso anterior

### Resolución:

- De la figura siguiente:



Se debe comprobar que  $\theta_i = \theta_t'$

Así, aplicando la ley de Snell para la primera interfase

$$n_o \text{ sen } \theta_i = n \text{ sen } \theta_t ;$$

$$\text{como } n_o = 1: \text{ sen } \theta_i = n \text{ sen } \theta_t \quad \textcircled{1}$$

Aplicando nuevamente Snell (interfase 2), obtenemos:

$$n \text{ sen } \theta_i' = n_o \text{ sen } \theta_t' ;$$

$$\text{como } n_o = 1: n \text{ sen } \theta_i' = \text{ sen } \theta_t' \quad \textcircled{2}$$

pero, como  $\theta_t = \theta_i'$ , sustituyendo en  $\textcircled{2}$ :

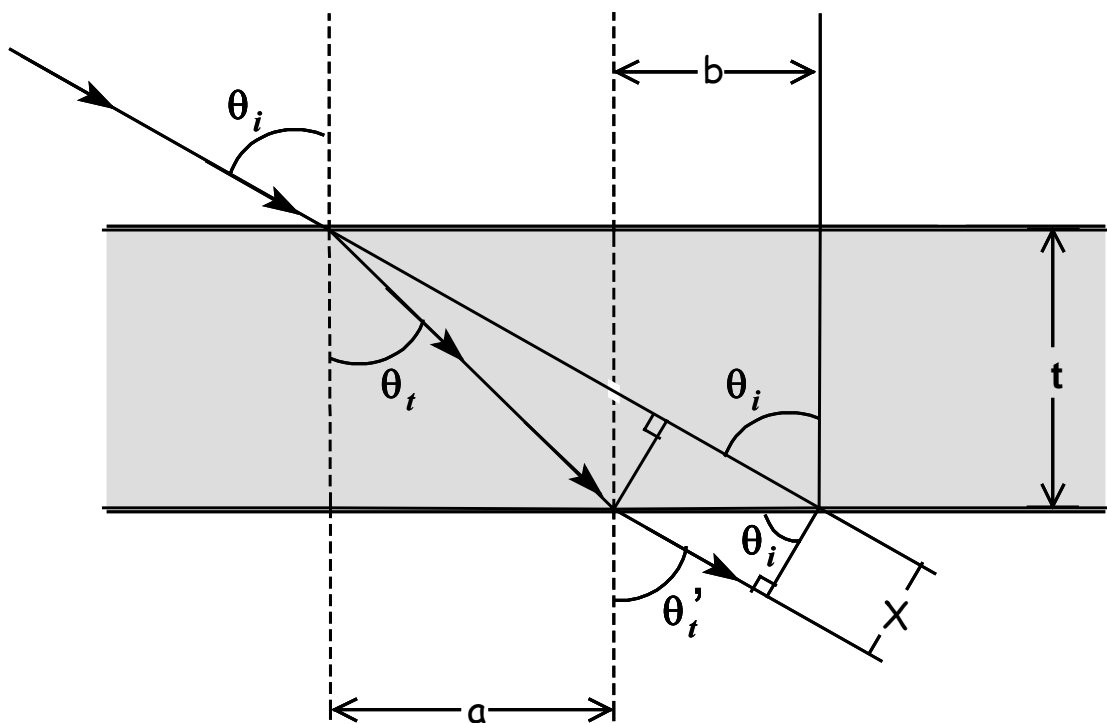
$$n \text{ sen } \theta_t = \text{ sen } \theta_t'$$

y al combinar con  $\textcircled{1}$ :  $\text{sen } \theta_i = \text{sen } \theta_t'$

y como  $0 \leq \theta \leq \pi/2$ , se tiene que:  $\theta_i = \theta_t'$

con lo que se demuestra lo pedido.

b) De la figura siguiente:



Se obtienen:

$$\tan \theta_i = \frac{a+b}{t}, \text{ y } \tan \theta_t = \frac{a}{t}, \text{ donde}$$

$$\frac{a+b}{t} = \frac{a}{t} + \frac{b}{t} = \tan \theta_t + \left(\frac{b}{t}\right),$$

$$\text{así: } \tan \theta_i = \tan \theta_t + \left(\frac{b}{t}\right) \quad \textcircled{3}$$

También:

$$\cos \theta_i = \frac{x}{b}, \text{ por lo tanto } b = \frac{x}{\cos \theta_i};$$

$$\text{sustituyendo en } \textcircled{3}: \tan \theta_i = \tan \theta_t + \frac{x}{t \cos \theta_i}$$

$$\text{y entonces: } \tan \theta_t = \frac{\sin \theta_i - \left(\frac{x}{t}\right)}{\cos \theta_i}$$

$$\text{o bien } x = t (\sin \theta_i - \tan \theta_t \cdot \cos \theta_i)$$

que es el modelo matemático que se pidió obtener.

*M. en I. Manuel de Jesús Vacío González*

*Prof. de Carrera Asociado "A" de Tiempo Completo en el Área de Física  
de la Facultad de Ingeniería de la UNAM*

#### REFERENCIA

- "Óptica"; Eugene Hetch; Addison Wesley Iberoamericana; Madrid 2000.

---

*No debe haber barreras para la libertad de preguntar.  
No hay sitio para el dogma de la ciencia.  
El científico es libre para hacer cualquier pregunta,  
para dudar de cualquier aseveración,  
para buscar cualquier evidencia,  
para corregir cualquier error.*

*Robert Oppenheimer (1904-1967)*

---



¡Bienvenida!

Generación

2005

