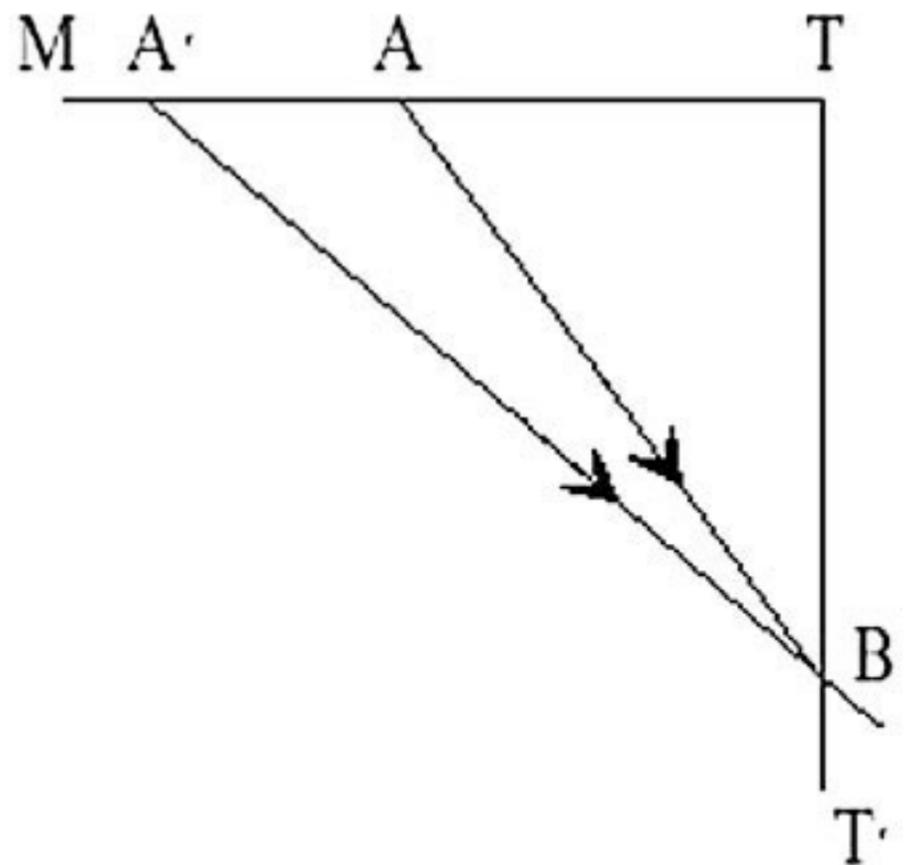
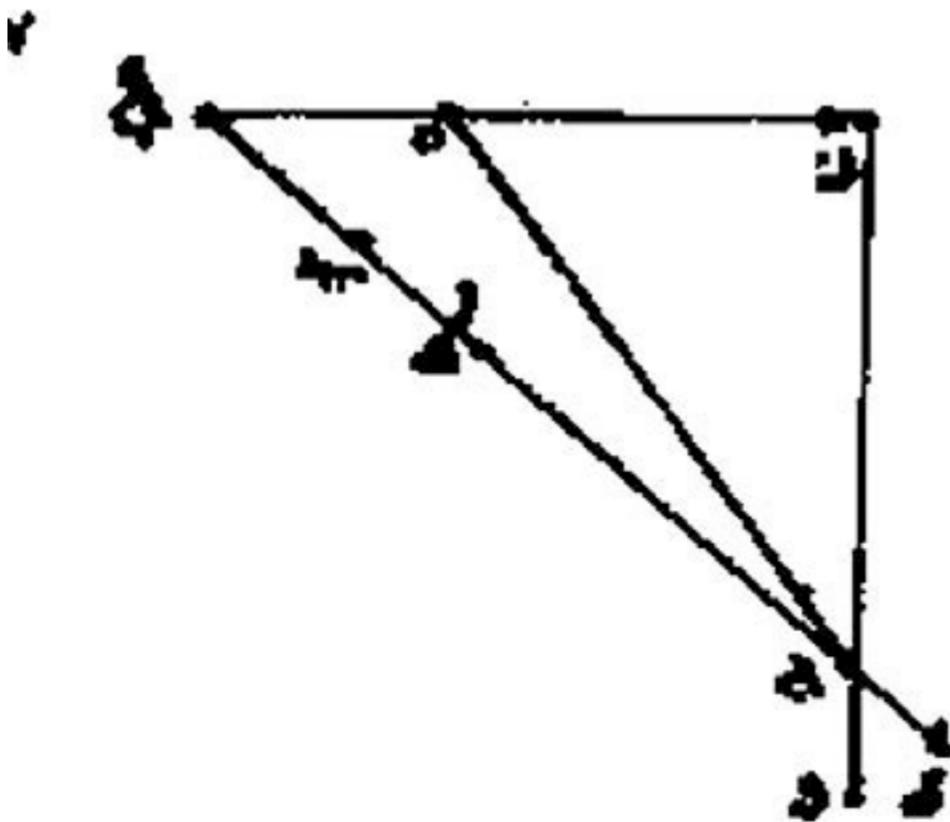


La luz de Bagdad

por Kurt Bernardo Wolf
Miembro de la Academia de Ciencias de Morelos



Los diagramas que aparecen en esta página representan la refracción de la luz. A la izquierda está el diagrama original que aparece en el libro de Abu Sa'ad al-'Ala' Ibn Sahl (940—1000) “Sobre Instrumentos para Quemar”, escrito en el año 984, en la capital del imperio Abassida y sede del califato, Bagdad; a la derecha, su ‘traducción’ con letras romanas. El diagrama de Ibn Sahl dice que un rayo de luz en aire con la dirección \underline{AB} , incidendo sobre la superficie $\underline{TT'}$ de un medio más denso (vidrio, por ejemplo), cambia su dirección a $\underline{A'B}$, tal que la razón $\underline{AB} / \underline{A'B}$ es la misma para cada par de medios. Esta afirmación de Ibn Sahl constituye el primer enunciado de la ley de la refracción de la luz, cuya fórmula nos enseñan en secundaria, $n \sin A = n' \sin A'$, entre el seno de los ángulos de incidencia y refracción A y A' , y los índices de refracción n y n' . Se ha llamado “ley de Snell”.

El descubrimiento de la ley de refracción se atribuye a Willebrord Snellius (1580—1626), y los franceses han insistido en

agregar el nombre de René Descartes (1596—1650); así se enseña en las escuelas y es el término común utilizado en la comunidad óptica. Para mi fortuna, en 1991 me tocó estar presente en Caracas cuando se otorgó el premio de la Academia de Ciencias del Tercer Mundo al Profesor Roshdi Rashed, catedrático de la Sorbona en París, por su descubrimiento e interpretación del libro de Ibn Sahl, en una revista especializada [1]. Se tenía noticia del libro de Ibn Sahl por los escritos de su discípulo Ibn al-Haytham; las bibliotecas de manuscritos antiguos en Damasco y en Tehrán catalogaban copias de este libro, pero las páginas no tenían numeración y estaban trastocadas. Fue el profesor Rashed quien investigó los dos textos, encontrando que las dos copias eran partes de un solo libro; su trabajo consistió en ordenar, traducir y actualizar el texto. Aunque faltan varias páginas, providencialmente la ley de la refracción está entera. Platiqué con el profesor Rashed animadamente después de su conferencia, y prometí revisar la primacía que implica el nombre, llamándola

“Ley de Ibn Sahl” en un libro que entonces comenzaba a preparar sobre óptica geométrica [2].

La óptica geométrica es una teoría que abstrae el fenómeno físico de la luz y lo reduce a la geometría de líneas rectas en un espacio transparente. Cuando este espacio contiene regiones de distinta densidad (aire, agua, vidrio, diamante) las líneas de luz se refractan (en griego, se quiebran) en la superficie entre estas regiones. Y lo hacen sujetas a dos axiomas: (1) las líneas siguen conectadas, (2) el segmento \underline{TB} del diagrama de Ibn Sahl se conserva común al rayo incidente y al refractado. En matemáticas, los axiomas son supuestos ‘evidentes’ sobre los que (si no son contradictorios) se puede construir una teoría. A partir de cinco axiomas se edifica la geometría de Euclides, cuyos actores son puntos, líneas, círculos, esferas y cónicas, en el marco de un espacio homogéneo en tres dimensiones. La óptica geométrica agrega un elemento más: la ‘densidad’ del medio —su índice de refracción n — que puede variar suave o abruptamente, como

en la atmósfera terrestre o en las lentes de un instrumento óptico. La geometría óptica tiene así dos axiomas adicionales. Cuando las piezas matemáticas se ensamblan, los dos axiomas encarnan leyes de conservación y determinan simetrías en sus ecuaciones, las cuales aparecen también en mecánica (clásica y cuántica), en óptica ondulatoria, y en el análisis de señales finitas procesadas en paralelo. Parafraseando el *dictum* del químico Lavoissier “la materia no se crea ni se destruye, solamente se transforma” decimos “—la luz tampoco”. Las transformaciones a que puedan ser sujetos los rayos de luz no los crea ni los destruye; su *volumen* (en espacio fase) permanece invariante.

En lugar de preguntar ¿qué es la luz? y mirar al cielo sin respuesta, debemos primero preguntar ¿cómo se comporta la luz?; así lo hicieron los filósofos griegos, entre ellos Claudio Ptolomeo (siglo II AC), quien escribió el libro “Óptica” (de *ops* —ojo); éste fue traducido al árabe por Ibn Sahl bajo el patronazgo de la corte descendiente de Harun al-Rashid,

que marcó la época de oro de la civilización islámica. Entre los siglos octavo y decimotercero, Bagdad era el centro de reunión de intelectuales árabes, persas y turcomanos, sunnis y shia's, cristianos y judíos, reverentes de la poesía, del conocimiento y de la razón. Bagdad fue el puente de luz entre el mundo clásico y el renacer europeo, sobre la marisma de fe medieval. El ciclo de los imperios se comenzó a cerrar a partir del siglo undécimo, con su fragmentación en varias dinastías; las luces se extinguieron una tras otra. El golpe de muerte ocurrió en 1258, cuando la ciudad fue masacrada por los mongoles de Hülagü Khan, y reducida a escombros.

Más tarde, los científicos europeos interrogaron nuevamente ¿qué es la luz? Huygens (1628—1695) vio que, bajo la hipótesis de ser una onda, la ley de refracción de la luz también se cumplía. En cambio, Newton (1643-1727) sostenía la hipótesis que un rayo de luz es como un chorro de arena sujeto a las leyes de la mecánica, pues ellas también cumplían con

ACADEMIA DE CIENCIAS DE MORELOS, A.C.



La Ciencia, desde Morelos para el mundo

La ley de refracción (implicando incorrectamente que la velocidad aumenta con la densidad del medio). La controversia duró un siglo, hasta que Young presentó en 1801 un experimento concluyente a favor del modelo ondulatorio. Por supuesto, los que trabajamos con óptica geométrica no ignoramos que es una abstracción; la estudiamos porque es una estructura matemáticamente limpia que permite formular y contestar preguntas muy concretas sobre grados de libertad en diseño óptico, medios con propiedades especiales de simetría, y una clasificación completa de sus aberraciones. Estos resultados se aplican también a modelos ondulatorios y otros contruidos para procesar señales en guías ópticas.

Durante el siglo diecinueve se perfeccionó el estudio de la luz. Se descubrió que se propagaba a velocidad de 300,000 kilómetros por segundo, que podía estar polarizada, que los colores que ven nuestros ojos no son más que un pequeño segmento del arco iris que se extiende entre las ondas de radio y los rayos gamma. En 1905 Einstein propuso la hipótesis que la luz, cuya velocidad es una constante universal e independiente del movimiento relativo entre observadores, determina la métrica del espacio-tiempo. Y en ese mismo año de maravilla propuso su segunda hipótesis histórica, la que le valió el premio Nobel de 1921: que la luz se comporta como un chorro de pequeños paquetes de energía —llamados fotones— que describe el efecto fotoeléctrico; con esto adelantó el efecto láser. El resto de la historia es contemporánea: fibras ópticas, cristales fotónicos, micro-pinzas que mueven organelos celulares, e instrumentos astronómicos que nos muestran el origen del universo.

¿Y qué es la luz? nos seguimos preguntando. Es onda y es partícula. No puede dejar de moverse y de oscilar; tampoco puede dejar de girar en una de dos direcciones —o en ambas. Los fotones pueden “tomar prestada” existencia para

saltar entre cargas eléctricas y así materializar las fuerzas entre ellas. Un solo fotón porta energía, cantidad de movimiento y giro, pero se puede partir en dos en presencia de un campo atómico; puede estar en dos y más lugares

al mismo tiempo; no lo podemos ver sin destruirlo; y jamás será alcanzado. Pero siempre obedece a la Ley de Ibn Sahl.

rrors and lenses”, ISIS 81, 464—491 (1990).

[2] K.B. Wolf, *Geometric Optics on Phase Space* (Springer-Verlag, Heidelberg, 2004), ISBN 3-540-22039-9.

[1] R. Rashed, “A pioneer in anaclasses —Ibn Sahl on burning mi-

CARTELERA VIGENTE DEL VIERNES 2 JUEVES 8 DE MAYO DE 2008




DIANA	JACARANDAS
<p>AUTOPISTA MEX. - ACA. KM.87.5, COL. FLORES MAGÓN (JUNTO A LA MEGA COMERCIAL), TEL: 3 15 92 40</p>	<p>AV. CUAPILAHUAC KM. 3, FRACC. ALEGRIA (JUNTO A CARREFOUR), TEL: 3 15 91 25</p>
<p>ESTRENOS</p> <p>QUIERO ROBARME A LA NOVIA (B) 11:25 12:35 13:45 14:55 16:05 17:15 18:20 19:35 20:40 22:00</p> <p>IRON MAN (B) ESP.- 12:00 14:25 17:00 19:55 22:20 11:30 14:10 16:40 19:10 21:40 ING.- 11:00 13:40 16:20 19:00 21:45 12:20 15:00 17:40 20:20 23:00</p> <p>BELLA (A) VIE-SAB Y MIE.- 12:45 14:45 16:45 18:55 21:10 23:10 DOM-MAR, JUE.- 12:45 14:45 16:45 18:55 21:10</p> <p>LOS FALSIFICADORES (B15) 12:30 14:35 16:35 18:45 20:50 22:55</p> <p>SENTENCIADO A MORIR (B15) 13:10 17:20 21:30</p> <p>CONSCIENTE (B15) 13:00 14:50 16:50 18:50 20:55 22:45</p> <p>LADRON QUE ROBA A LADRON (B) 11:05 15:20 19:20</p> <p>REYES DE LA CALLE (B15) 11:15 15:45 20:15</p> <p>DEFINITIVAMENTE TAL VEZ (B) VIE-SAB Y MIE.- 13:55 18:30 23:05 DOM-MAR, JUE.- 13:55 18:30</p> <p>CASI DIVAS (B15) 13:30 18:00 22:40</p> <p>LA MISMA LUNA (A) 11:40 16:10 20:45</p>	<p>ESTRENOS</p> <p>QUIERO ROBARME A LA NOVIA (B) 11:20 13:20 15:20 17:20 19:20 21:20</p> <p>IRON MAN ESP (B) 11:00 11:40 12:20 13:40 14:20 15:00 16:20 17:00 17:40 19:00 19:40 20:20 21:40 22:20 23:00</p> <p>BELLA (A) 12:30 14:30 16:30 18:30 20:30 22:30</p> <p>SENTENCIADO A MORIR (B15) 11:05 15:05</p> <p>CONSCIENTE (B15) 16:40 18:40 20:40 22:40</p> <p>LADRON QUE ROBA A LADRON (B) 11:50 13:55 16:00 18:05 20:10 22:15</p> <p>REYES DE LA CALLE (B15) 14:00 18:10 22:25</p> <p>CASI DIVAS (B15) 11:25 15:45 20:15</p> <p>IMAGENES DEL MAS ALLA (B15) 13:15 17:15 19:05 20:55 22:45</p> <p>JUMPER ESP (B) 12:00 16:15 20:25</p> <p>LA MISMA LUNA (A) 13:30 18:00 22:35</p> <p>HORTON Y EL MUNDO DE LOS QUIEN ESP (AA) 11:10 13:00 14:50</p>
<p>VIVE LA MAGIA DEL CINE LAS VECES QUE QUIERAS, CON QUIEN QUIERAS Y PAGA COMO QUIERAS</p> <p>MEMBRESÍA CINEMEX</p> <p>ACEPTAMOS TARJETA DE CRÉDITO, DÉBITO* O EFECTIVO* Consulta detalles en cinemex.com o en la Línea Cinemex al 5257-6969 o del interior al 01800-710-8888</p> <p>Adquiere tu Membresía Cinemex en cualquier complejo o en cinemex.com Membresía Cinemex sujeta a los lineamientos publicados a través de la página cinemex.com.</p> <p>línea cinemex 01800-710 8888</p> <p>cinemex.com</p> <p>EN CINEMEX DIANA, YA CONTAMOS CON SERVICIO DE ELEVADOR Y ESTACIONAMIENTO EN LA PARTE SUPERIOR DEL CINE</p>	
<p><small>ADICIONALES Y ADULTOS: \$4.00 DE LUNES A VIERNES EXCEPTO MIÉRCOLES; \$4.00 DESCUENTOS ESPECIALES MIÉRCOLES: \$3.00 EXCEPTO DIAS FESTIVOS; LUNES A VIERNES ANTES DE LA 12:00 HRS. \$3.00 EXCEPTO DIAS FESTIVOS; MAÑORES DE 60 Y MENORES DE 12 AÑOS: \$3.00; LUNES A JUEVES PRESENTE CON CREDENCIAL VIGENTE: \$3.00 EXCEPTO DIAS FESTIVOS.</small></p>	
<p><small>DESCUENTOS ESPECIALES MIÉRCOLES: \$3.00 EXCEPTO DIAS FESTIVOS; LUNES A VIERNES ANTES DE LA 12:00 HRS. \$3.00 EXCEPTO DIAS FESTIVOS; MAÑORES DE 60 Y MENORES DE 12 AÑOS: \$3.00; LUNES A JUEVES PRESENTE CON CREDENCIAL VIGENTE: \$3.00 EXCEPTO DIAS FESTIVOS.</small></p>	
<p><small>ADICIONALES Y ADULTOS: \$4.00 DE LUNES A VIERNES EXCEPTO MIÉRCOLES; \$4.00 DESCUENTOS ESPECIALES MIÉRCOLES: \$3.00 EXCEPTO DIAS FESTIVOS; LUNES A VIERNES ANTES DE LA 12:00 HRS. \$3.00 EXCEPTO DIAS FESTIVOS; MAÑORES DE 60 Y MENORES DE 12 AÑOS: \$3.00; LUNES A JUEVES PRESENTE CON CREDENCIAL VIGENTE: \$3.00 EXCEPTO DIAS FESTIVOS.</small></p>	

Todos los artículos publicados en esta sección de La Unión de Morelos han sido revisados y aprobados por el comité editorial de la Academia de Ciencias de Morelos, A.C., cuyos integrantes son: Dra. Georgina Hernández Delgado, Dr. Hernán Larralde Riadura y Dr. Joaquín Sánchez Castillo (Coordinador).
Comentarios y sugerencias: joaquin.sanchez@microbio.gu.se