

# El *Tratado sobre la Luz* de Huygens y su transposición didáctica en la enseñanza introductoria de Óptica<sup>1</sup>

Sonia Krapas<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidade Federal Fluminense - sonia@if.uff.br

*Con el objetivo de identificar qué aspectos del Tratado sobre la Luz de Huygens pueden encontrarse en la enseñanza introductoria de Óptica, se analizaron algunos libros de texto de enseñanza secundaria y universitaria. Desde la perspectiva de la transposición didáctica de Chevallard, se discute en qué medida la didactización realizada en esos libros se encuentra despersonalizada y descontextualizada. De las explicaciones sobre diversas propiedades de la luz enfocadas en el Tratado, se verifica que sólo aquellas relacionadas con la reflexión y refracción son semejantes a las que se encuentran en los textos. Ese hecho se atribuye a que la construcción geométrica o Principio de Huygens, como es llamado habitualmente, es independiente del modelo usado para la luz, que en la perspectiva del Tratado respondía a un modelo de onda mecánica que se propaga en un medio elástico, el éter. En algunos libros existen verdaderas creaciones didácticas, mientras que en otros, la transposición didáctica es incipiente.*

**Palabras clave:** Tratado sobre la luz, Huygens, transposición didáctica, manuales didácticos

*Having as objective to identify which aspects of Huygens' Treatise on Light are found in Optics introductory teaching, some high school textbooks were analyzed. Taking Chevallard's perspective of didactic transposition, it is intended to know in which ways the didactization in these books is de-contextualized or despersonalized. Among the explanations to the many proprieties approached in Huygens' book, only the ones related to reflection and refraction are similar to the explanations found in high school books. That fact is attributed to the geometric construction or Huyghens Principle, as it is called, is independent of the model used for light, which in the Treatise perspective responded to a mechanical wave model propagating in an elastic medium, the ether. In some books there are true didactic creations; in others, however, the didactic transposition is incipient.*

**Keywords:** Treatise on Light, Huygens, didactic transposition, text books

## Introducción

La inclusión de la historia de la ciencia en la enseñanza es una de las demandas que plantea la noosfera. En Brasil, esa demanda se encuentra, por ejemplo, en los documentos oficiales que sirven como orientación para la enseñanza secundaria, más allá de que muchas veces, esa tarea suele verse casi como una misión imposible. Según Chevallard (1998, p. 16),

*“Para que la enseñanza de un determinado elemento de saber sea meramente posible, ese elemento deberá haber sufrido ciertas deforma-*

*ciones, que lo harán apto para ser enseñado. El saber enseñado es necesariamente distinto del saber a enseñar.”*

En ese proceso de transposición didáctica, necesariamente se produce una despersonalización y una descontextualización (Astolfi y Develay, 1990, p. 48):

*“La designación de un elemento del saber sabio como objeto de enseñanza modifica fuertemente su naturaleza, en la medida en que se encuentran desarticuladas las cuestiones que dicho elemento permite resolver, así como el vínculo relacional que mantiene con otros concep-*

<sup>1</sup> Una versión preliminar de este trabajo fue presentado en el Noveno Simposio de Investigación en Educación en Física. Rosario, Argentina.

tos. Existe así una “epistemología escolar” que puede ser distinguida de la epistemología en vigor en los saberes de referencia.

Nótese un único ejemplo de este distanciamiento que no es menor: el de la despersonalización y de la descontextualización de los conceptos, cuando se vuelven objetos de enseñanza.”

Sobre la despersonalización Chevallard (1998, p. 24) afirma:

“Todo saber considerado in statu nascendi está vinculado a su productor y se encarna en él, por así decirlo. Compartirlo, en el interior de la comunidad académica, supone un cierto grado de despersonalización, que es requisito para la publicidad del saber. (...) Sin duda el proceso de despersonalización no se realiza nunca tan completamente como durante el momento de la enseñanza (“Pueden creerme, porque no es mío...”)”

Puede afirmarse que son pocos los científicos cuyo trabajo se presenta en los manuales didácticos de manera tan difundida como ocurre en el caso de Huygens: desde textos de enseñanza media a libros de Óptica, destinados a la formación profesional de físicos, es notable la referencia a ese autor.

Nuestro objetivo es identificar qué aspectos del *Tratado sobre la Luz* (Huygens, 1986) han sufrido un proceso de transformación didáctica en la enseñanza introductoria de óptica, procurando comprender los cambios en la obra en lo que respecta a lo que se incorpora actualmente en los textos; saber en qué medida la transposición didáctica realizada por los libros se encuentra despersonalizada o descontextualizada. También se procura entender los motivos por los cuales las referencias a Huygens se mantienen aún en los libros más avanzados.

En defensa de una concepción ondulatoria de la luz, Huygens pone en marcha su modelo, brindando explicaciones para diversas propiedades de la luz conocidas en su época. Krapas y colaboradores (2008) destacan las propiedades que se encuentran dispersas en los tres primeros capítulos del *Tratado* - velocidad muy grande, pero no infinita, constancia de la velocidad, propagación hacia adelante, independencia de las ondas luminosas, propa-

gación a grandes distancias, propagación rectilínea, reflexión, refracción, y en relación con esta última, transparencia y opacidad - y explicitan diversos aspectos del modelo de Huygens.

Tomando como analogía lo que hoy se conoce como la cuna o péndulo de Newton<sup>2</sup>, se concibe la luz como una onda mecánica que se propaga en un medio elástico, el éter. De este modelo, nace la construcción geométrica<sup>3</sup> (Figura 1) sobre la cual Huygens (1986, p. 22) afirma:

“Si DCF es una onda que emana de un punto luminoso A, que es su centro, la partícula B, una de las incluidas en la esfera DCF, produce su onda particular KCL, que tocará la onda DCF en C, en el mismo momento en que la onda principal, que emana de A, haya llegado a DCF. Es evidente que la onda KCL tocará a la onda DCF sólo en un único lugar C, que se encuentra en la recta trazada por A y B. Del mismo modo, cada una de las otras partículas incluidas en la esfera DCF, como bb, dd, etc, habrán generado su onda. Pero cada una de esas ondas sólo puede ser infinitamente pequeña en comparación con la onda DCF, para cuya composición todas las demás contribuyen mediante las partes de sus superficies que están más alejadas del centro A (es decir, por los puntos tangentes a DCF).”

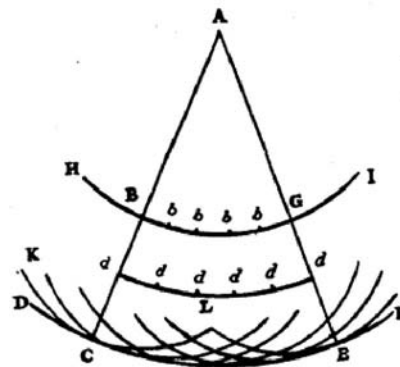


Figura 1: Esquema tomado del *Tratado*: ondas - principal y particulares - emanadas del punto luminoso A.

Respecto de la construcción geométrica, Shapiro (1973, p. 224) expresa su falta de claridad: “las ondas secundarias o ‘particulares’ complican, más que simplifican la discusión

de las ondas esféricas”. En Krapas y colaboradores (2008, p. 9) se detallan algunas “complicaciones”:

“(…) la primera se refiere a la composición de la onda DCF, denominada actualmente envolvente de la onda. Las palabras de Huygens sugieren que “al mismo tiempo, la onda DCF, que emana de A, y la onda particular KCL que emana de B, se tocarán, lo que puede llevar al lector a pensar que hay composición de la onda primaria con la secundaria. Ciertamente no era lo que Huygens tenía in mente al referirse a una llegada “al mismo tiempo”, sino que eran equivalentes las dos formas de interpretar la llegada de una onda.

Aunque Huygens no lo haya planteado, la onda KCL (representada sólo por el arco de circunferencia) no se propaga en todas direcciones, ya que, como se ha visto, la luz se propaga hacia adelante. Para ser más precisos, el arco debería entonces estar representado por una semi-circunferencia. De hecho, es por esa razón que Fresnel (1788-1827) considera esta cuestión, más de un siglo después, cuando introduce un factor en la amplitud de las ondas esféricas secundarias, el factor de inclinación, al plantear sus ecuaciones para la descripción mecánica de oscilaciones transversales del éter. Ese factor es máximo en la dirección normal hacia el frente de onda y cero cuando el ángulo es de  $\pi/2$  respecto de esa dirección.

En la construcción geométrica de Huygens, Martins plantea que existe un problema de conservación de la energía. Es decir, si nos atenemos a la manera como aparece en el comentario del Tratado (Huygens, nota 12, p. 22), la teoría de Huygens tendría dificultades para explicar, cuantitativamente, la disminución de la intensidad luminosa con el cuadrado de distancia, algo que justamente, lo que parece estar en la base de sus explicaciones - previamente señaladas- para la propagación de la luz a grandes distancias. De hecho, si sólo el punto de las ondas secundarias que la toca contribuye a la formación de la envolvente, puede entenderse lo que Martins afirma: “la mayoría de las ondas emitidas por cada uno de los elementos se ‘pierde’, no contribuye a la formación de la onda principal, que no transporta el movimiento existente inicialmente en la onda”. De hecho, la envolvente, construcción que se mantiene en los manuales didácticos, puede dar lugar a algunos malentendidos. Se la puede utilizar para representar un pulso, pero eso no significa que la energía del pulso esté loca-

lizada sólo allí. Cuando se considera la composición constructiva de pulsos en fase, es decir, la interferencia de las ondas secundarias - corrección hecha por Fresnel y hoy conocida como principio de Huygens-Fresnel<sup>4</sup> -, se puede ver que la energía se distribuye en la envolvente.”

Por otra parte, Shapiro (1973, p. 228-9) considera que la demostración matemática de la ley de Snell realizada por Huygens, es superior a las disponibles en su época. Es decir, la debilidad de la construcción de Huygens no perjudica su aplicación en la explicación de la reflexión y la refracción de la luz (Figura 2).

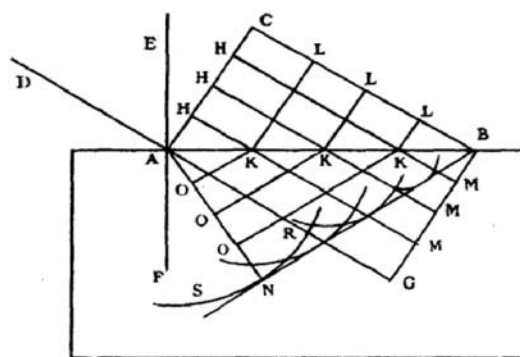


Figura 2: Esquema tomado del Tratado referente a la refracción de la luz

La figura 2 muestra la evolución de un pulso, representado por su frente AC en cuatro instantes diferentes, separados por intervalos iguales de tiempo. Así, cuando el frente de onda toca la superficie en B, la onda particular formada en A, cuatro intervalos de tiempo antes, habrá evolucionado en una esfera de radio AN (ahora dentro del material transparente), y las ondas particulares formadas en los puntos Ks tres, dos y un instante antes, habrán evolucionado en esferas de menor radio, de modo que todas las esferas tendrán una tangente común BN, que representa el frente de onda refractada.

Habiendo presentado el Tratado en líneas generales, pasamos ahora a considerar los textos. La elección de la muestra de libros de escuela secundaria se hizo utilizando como criterio la evaluación realizada en el marco del

Programa Nacional del Libro para la Enseñanza de Nivel Medio PNLEM (Brasil, 2006): *Universo da Física* de Sampaio y Calçada (2001), *Física* de Gaspar (2000), *Física* de Máximo y Alvarenga (2002), *Física* de Gonçalves y Toscano (2003). Incluimos, también, la colección *Física* de Guimarães y Fonte Boa (2001a, 2001b), que, a pesar de no haber sido evaluado por el PNLEM, está considerada de calidad equivalente por la comunidad brasilera. Analizamos además el libro *Física Conceitual* (Hewitt, 2002), cuyo título da una indicación de su carácter innovador. El libro de Ramalho, Nicolau y Toledo (1998), *Os fundamentos da Física*, fue seleccionado por tratarse de un éxito editorial desde hace décadas.

Los libros introductorios de física de nivel universitario analizados fueron: *Física* de Tipler y Mosca (2006) y *Fundamentos de Física*, de Halliday, Resnik y Walker (2007), ya que son ampliamente utilizados en las disciplinas de física básica en Brasil y otros países; *Curso de Física Básica* de Nussenzveig (1992 y 2002) y *Física* de Chaves (2001), por tratarse de obras brasileras de reconocido valor.

### El tratado sobre la luz de Huygens y los manuales didácticos.

Lo que resulta más notorio en la comparación entre el texto histórico de Huygens y su transposición en la enseñanza de la óptica observada en textos de escuela secundaria y de nivel universitario básico, es la desaparición, fácilmente explicable, del modelo de propagación de ondas mecánicas a través de la materia etérea. En la historia de la ciencia, tanto antes como después de Huygens, se crearon sucesivos modelos mecánicos para el éter (Whittaker, 1958). Es interesante observar que, en la medida que los modelos pudieron ser matematizados, fue posible mantener el modelo matemático, aún cuando el mecánico fue abandonado. Similar a lo que ocurre, por ejemplo, con el modelo mecánico de remolinos de Maxwell: considerando las ecuaciones a través de su formulación lagrangiana, que prescinde del conocimiento de los vínculos, Maxwell descarta su modelo mecánico (Abrantes, 1998, p. 199). Este hecho puede interpretarse como un paso más hacia lo que

Einstein e Infeld (1976) ven como el gran proyecto de la física, el “*derrumbe de la visión mecánica*”. La eliminación del éter, propiciada por el desarrollo de la relatividad restringida, es otro ejemplo: las ecuaciones de Lorentz se mantuvieron, pero su hipótesis sobre las fuerzas moleculares (Zahar citado por Villani, 1981), que implicaba un éter estacionario, fue olvidada. Con la eliminación del éter, propiedades de la luz como la velocidad muy grande, pero no infinita, la constancia de la velocidad, la propagación hacia adelante y la propagación a grandes distancias, que Huygens explica en su *Tratado* y que exigían un modelo para el éter, ni siquiera son mencionadas en muchos textos, siendo consideradas no problemáticas. La propagación rectilínea y la independencia de las ondas luminosas se toman simplemente como principios (Gaspar, 2000); la constancia de la velocidad de la luz es considerada como un dato empírico; nada se comenta sobre la transparencia de los cuerpos.

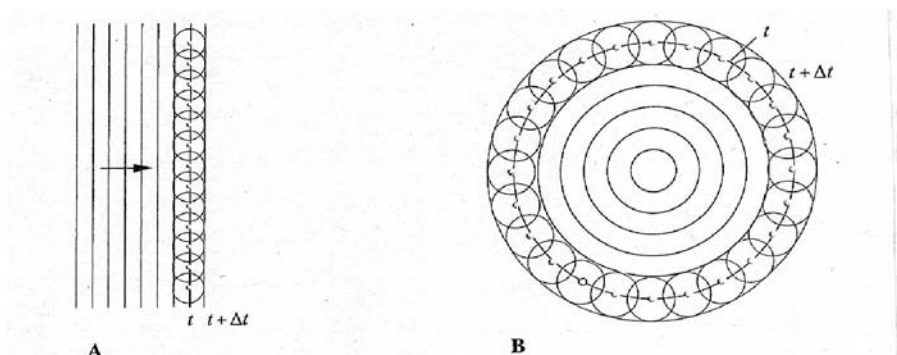
Diferente es la situación respecto de la reflexión y la refracción. Eso se debe a la autonomía de la construcción geométrica -con las que estas propiedades se relacionan- respecto del modelo mecánico asociado al éter. En los textos, estas propiedades admiten diversos enfoques: son consideradas sólo como hechos empíricos (Gonçalves y Toscano, 2003); la reflexión es un hecho empírico, pero en la refracción, la asociación del índice de refracción con la velocidad de propagación, impone un modelo ondulatorio de la luz (Guimarães y Fonte Boa, 2001); la reflexión y la refracción, presentadas después o dentro de los apartados del texto donde se tratan las ondas, se interpretan en el marco de un modelo ondulatorio.

¿Cómo, entonces, la construcción geométrica de Huygens se incorpora al modelo ondulatorio que explica la reflexión y la refracción?

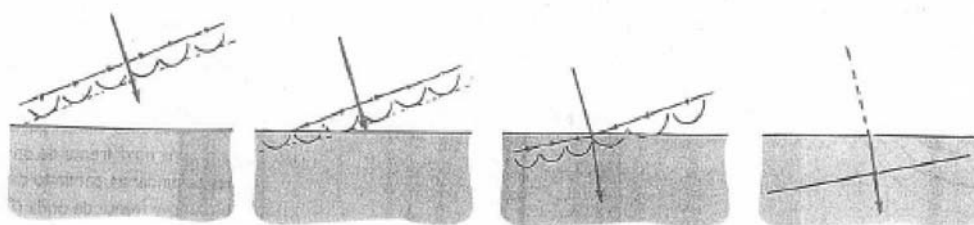
### La construcción geométrica

Los libros que se apropian de la construcción geométrica de Huygens, la presentan de manera simplificada: algunos elementos de la Figura 1 son eliminados (Figura 3). A partir de allí, se define el frente de onda para procurar de ese modo, “*comprender cómo una onda*

*plana o una onda esférica pueden propagarse manteniendo su carácter de onda plana o esférica”* (Chaves, 2001, p. 70).



*Figura 3: Construcción de Huygens en Chaves (2001, p. 70)*



*Figura 4: Refracción en Hewitt (2002, p. 196)*

Definidos los frentes de onda, algunos libros presentan, para la refracción, ondas secundarias, recurriendo incluso a una serie de representaciones gráficas que dan idea de la evolución de los frentes de onda en el tiempo (Figura 4). Ramalho, en una serie de esquemas para representar la reflexión (Figura 5), es explícito: “*cuando el primer frente de onda incide en la superficie de separación, en el instante  $t_0 = 0$ , el punto P de la superficie se transforma en fuente de una onda secundaria, según se desprende del Principio de Huygens*” (Ramalho y colaboradores, 1988, p. 340). Sin

embargo, en el esquema planteado, este “principio” es, en realidad, superfluo. Aún considerando que la onda refractada sea la tangente común a las ondas secundarias, la misma no se obtiene a partir de ellas siguiendo a Huygens (para ello, las ondas secundarias en (c) y (d) deberían tener radios distintos, pues se producen en tiempos diferentes). Ella viene dada por la ecuación  $v = \lambda f$  y por el hecho de que  $v$  es mayor en los medios menos refringentes. En estos dibujos esas “onditas” parecen ser decorativas.

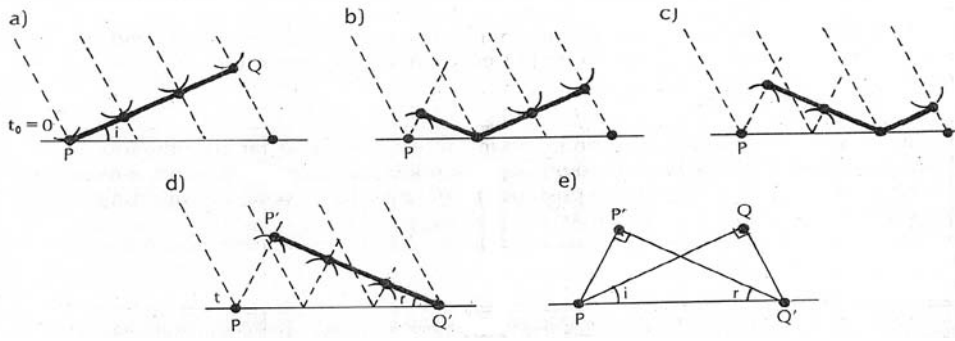


Figura 5: Reflexión en Ramalho (1988, p. 340)

Cuando no se consideran las ondas secundarias, su inutilidad se hace evidente, y se pone de manifiesto la importancia de  $v = \lambda f$ . La figura 6 es ilustrativa,

Vemos en los dos abordajes antes mencionados una subtilización de la construcción de Huygens. Otros autores presentan una

mejor alternativa. Guimarães y Fonte Boa (2001a), trabajan con la expresión  $v = \lambda f$ , sin emplear la construcción de Huygens (figura 7); Nussensveig (1981), aplica la construcción geométrica de la misma forma que Huygens (figura 8).

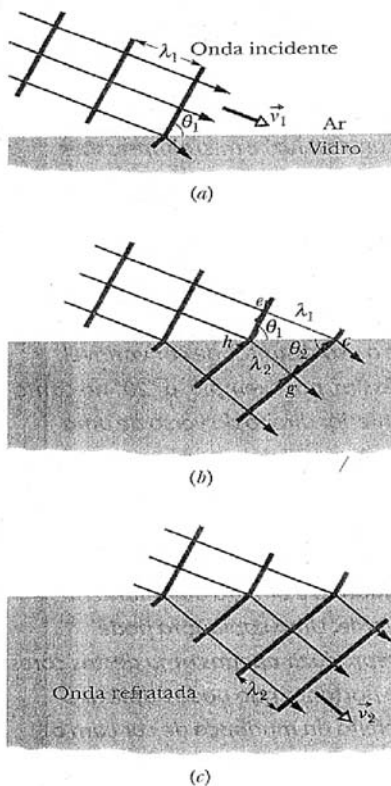


Figura 6: Refracción en Halliday, Resnik e Walker (2007, p. 74)

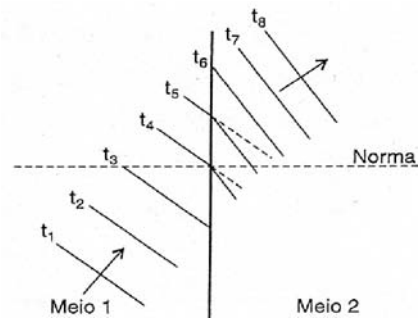


Figura 7: Refracción en Guimarães y Fonte Boa (2001b, p. 241)

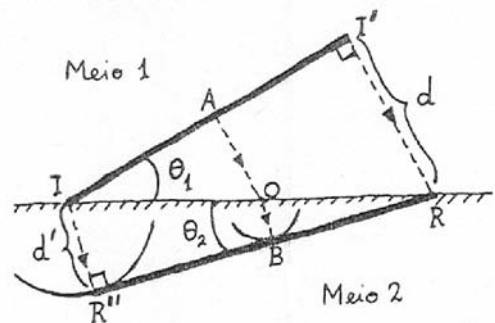


Figura 8: Refracción en Nussensveig (1992, p. 237)

Para sintetizar los datos sobre la refracción en los textos analizados, discriminamos los enfoques adoptados en lo que se refiere al modo de apropiación de la construcción de Huygens. En la Tabla 1 se indican las posturas adoptadas por cada autor:

1. No hay apropiación porque la refracción es tomada como un hecho empírico;
2. No hay apropiación porque el frente de onda se define empíricamente;
3. La construcción geométrica se utiliza para definir el frente de onda, pero en los gráficos de refracción, esta construcción es super-

flua, dado que la expresión  $v = f \lambda$  es lo que define el frente de la onda refractada;

4. La construcción geométrica se utiliza para definir el frente de onda, pero en los gráficos de refracción, esta construcción no aparece y lo que define el frente de onda refractada es la expresión  $v = f \lambda$ ;

5. La construcción geométrica se utiliza para definir el frente de onda y en los esquemas de la refracción, esa construcción define la onda refractada.

Tabla 1: Libros de texto en función del abordaje adoptado

Libros de texto	1	2	3	4	5
Sampaio y Calçada (2001)	X				
Gonçalves y Toscano (2003)	X				
Máximo y Alvarenga (2002)	X				
Guimarães y Fonte Boa (2001a e 2001b)		X			
Tipler y Mosca (2006) <sup>5</sup>		X			
Ramalho (1988)		X			
Hewitt (2002) <sup>6</sup>		X	X		
Gaspar (2000)			X		
Chaves (2001)			X		
Halliday, Resnik y Walker (2007) <sup>7</sup>				X	
Nussensvaig (1992 e 2002)					X

Cabe señalar también que aquello que en Huygens era considerado como una simple construcción geométrica, en la transformación didáctica adquiere la condición de principio. Por lo tanto, habiendo despojado la creación didáctica, al principio de Huygens del modelo mecánico del éter, el mismo se configura, según admite Gaspar (2000, p. 55), como una “idealización geométrica, ya que sus fuentes secundarias no poseen existencia real”<sup>8</sup>. Tratando de evitar la incómoda falta de realidad,

Guimarães y Fonte Boa (2001a) proponen una alternativa diferente: no hacen ninguna referencia a la construcción de Huygens, sino que se muestran los frentes de onda en forma concreta en cubetas de onda (ya en los años 60, el PSSC se valía de visualizaciones en cubetas de onda para el mismo propósito).

Podríamos preguntarnos por el significado físico asociado al abordaje matematizado  $v=f\lambda$ . Después de todo, ¿cuál es el mecanismo que hace que la onda cambie su dirección de

propagación? Previendo esta inquietud por parte de los estudiantes, Guimarães y Fonte Boa (2001a) asocian una analogía a esa expresión matemática. Explican la desviación de la luz utilizando un carrito motorizado que incide oblicuamente en la línea de separación entre dos superficies de diferente rugosidad: “el ‘lado’ de la onda que primero penetra en el agua se mueve con velocidad diferente al otro ‘lado’ que se mueve en el aire” (Guimarães y Fonte Boa, 2001a, p. 226). Con el mismo propósito, Gaspar (2000, p. 58), utilizando una analogía similar, sustituyendo al carrito por una banda militar marchando.

Una solución para otorgar un poco de realidad a las ondas secundarias es presentarlas de acuerdo a la teoría de la dispersión. Desarrollada por Rayleigh (1842-1919) en 1871, la teoría trata la dispersión de la luz solar en términos de osciladores moleculares, mucho antes del advenimiento de la Mecánica Cuántica. Es notable la similitud entre la figura 1 y la figura 9, que representa la emisión de una onda esférica cuando un átomo interactúa con una onda plana.

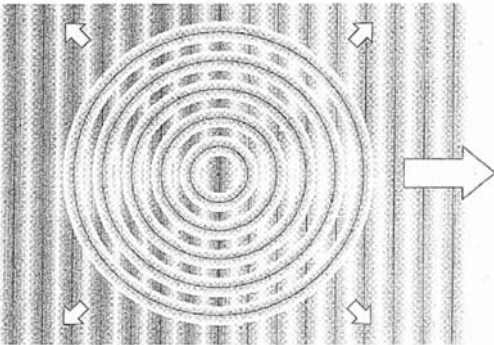


Figura 9: Dispersión de una onda plana por un átomo (Hecht, 2002, p. 116)

Según Hecht, los procesos de reflexión y refracción “son manifestaciones macroscópicas de los procesos de dispersión que ocurren a nivel submicroscópico” (Hecht, 2002, p.115). Imaginando una superficie de separación entre dos medios, Hecht afirma:

“Tal superficie introduce una discontinuidad muy significativa y los átomos que la constitu-

yen dan origen, por dispersión, a una onda reflejada y una onda de transmitida. {...} Desde el punto de vista clásico, cada molécula excitada de la superficie irradia “onditas” que se propagan en el interior del vidrio con una velocidad  $c$ . Estas “onditas” se combinan para formar la segunda onda, que a su vez se recombina con lo que resta de la onda primaria no dispersada, para formar la onda transmitida final. El proceso continúa indefinidamente a medida que la onda se propaga en el medio de transmisión. {...} Es como si los átomos en la superficie de la discontinuidad dispersasen “onditas lentas” en el vidrio, que, en su conjunto, constituyen una “onda transmitida lenta.” (Hecht, 2002, p. 132)

De ahí la similitud entre los gráficos de Huygens (Figuras 2), y los que representan respectivamente, la reflexión (Figura 10) y la refracción (incluido el caso de reflexión total) como resultado de un proceso de dispersión (Figura 11).

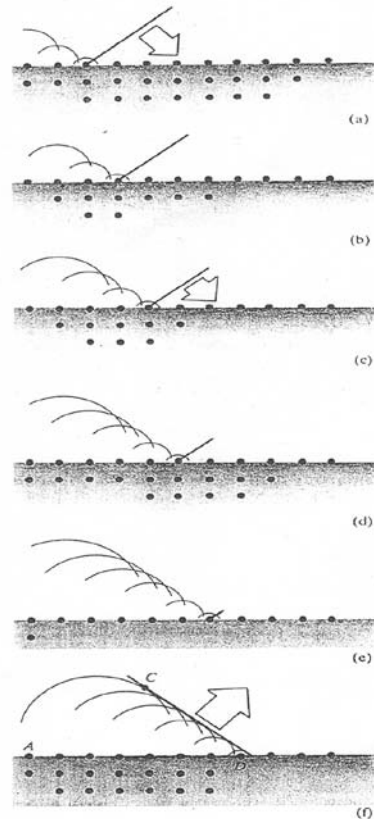


Figura 10: Reflexión (Hecht, 2002, p. 129)



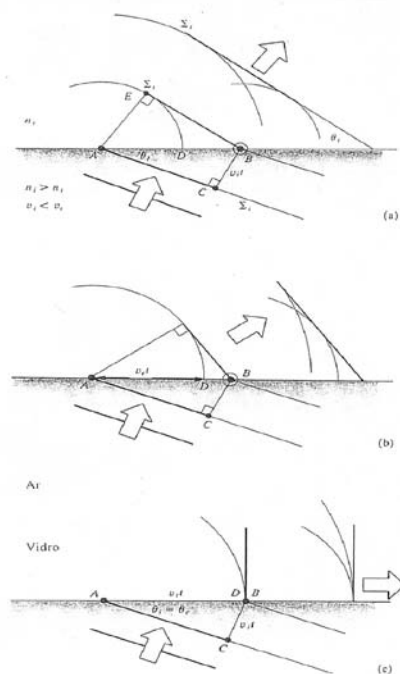


Figura 11: Refracción (Hecht, 2002, p. 158)

Desde la perspectiva de la teoría de la dispersión, las ondas aparecerían sólo cuando la luz interactúa con la materia, ya sea con la superficie reflectora, o con la superficie de separación entre dos medios transparentes, en vez de ser asociadas a cualquier punto del espacio, como establece el “principio” de Huygens.

Además de considerar los problemas en la transformación didáctica de la construcción de Huygens, hay que detenerse en las “complicaciones” - mencionadas anteriormente - relativas a esta última. La primera de ellas se evita, si se realiza una clara distinción entre ondas primarias y secundarias. Es interesante observar, sin embargo, el silencio de los libros de texto en relación con las complicaciones referidas a la conservación de la energía y a la propagación de la luz hacia atrás. Sobre este último punto, Nussenzveig (2002, p. 85) y Tipler rompen el silencio mediante la introducción del factor de corrección de Fresnel, pero eso puede parecerle al estudiante tan artificial como la propia construcción de Huy-

gens. Respecto de la conservación de la energía, el problema es soslayado, porque el frente de onda se presenta más como una definición matemática que como una entidad física a la que se podría asociar energía - “Para las ondas bi y tridimensionales se define el frente de onda como el conjunto de todos los puntos del medio que, en determinado instante, son alcanzados por la onda que se propaga” (Ramalho, 1988, p. 339); “el frente de onda separa la región perturbada de la región que todavía no está perturbada” (Ramalho, 1988, p. 339). En ese último caso, el problema permanece.

### Consideraciones finales

Comenzamos estas consideraciones preguntándonos: ¿por qué motivo Huygens continúa invariablemente citado en los libros de texto, tanto introductorios como avanzados?

Según Shapiro (1973, p. 207), el *Tratado “representa la culminación de la tradición cinemática del siglo XVII en la teoría continua de la luz”*, es decir, esa tradición se cierra con Huygens. Además, el *Tratado* fue casi completamente olvidado en el siglo XVIII (Shapiro, 1973, p. 263), a pesar de que la doble refracción se consideraba un experimento crucial (1973, p. 207-208). Fue sacado de la oscuridad en los primeros años del siglo XIX, cuando se establece la asociación del nombre de Huygens con la construcción geométrica y el último capítulo, que trata sobre la formulación general de los conceptos de rayo y de frente de onda, sólo fue redescubierto en el primer tercio del siglo XIX. Cabe destacar, que Shapiro plantea que: “*las ondas secundarias o ‘particulares’ complican en vez de simplificar la discusión de las ondas esféricas; la discusión de Pardies, por ejemplo, es mucho más lúcida.*” No obstante, Shapiro (1973, p. 228-9) señala la superioridad de Huygens respecto de Pardies, en lo que se refiere a la demostración matemática de la ley de Snell.

Continuamos nuestra argumentación ampliando la pregunta original: ¿qué hace que un contenido se incluya en el diseño curricular de cursos introductorios de física? Podemos mencionar varios criterios: datos empíricos fácilmente accesibles, mediante observación o

experimentos sencillos; fácil construcción de instrumentos de evaluación; exigencias de la noosfera de diverso orden (inclusión de la física moderna y contemporánea en la enseñanza de la física, inclusión de la historia de la ciencia en la enseñanza de la física, contextualización o introducción la física de lo cotidiano); herramientas matemáticas rudimentarias en el tratamiento de los datos; formar parte de una cadena que contempla como último eslabón a la física contemporánea. La permanencia de la construcción de Huygens en los libros introductorios de óptica, parece explicarse más adecuadamente en función de los dos últimos criterios.

Aunque existe una formulación matemática más avanzada para tratar estos fenómenos – las leyes de reflexión y de refracción se deducen a partir de las ecuaciones de Maxwell (Griffiths, 1999), la construcción geométrica de Huygens es considerada satisfactoria y requiere de un álgebra y una geometría elementales. Algunos autores de libros avanzados se manifiestan en ese sentido. Klein (1970), por ejemplo, considera que la propagación de la luz es, en general, un proceso complicado, especialmente cuando la materia está presente para absorber, reflejar, refractar y dispersar la radiación. Sugiere que existe, sin embargo, la posibilidad de “*buscar descripciones aproximadas de propagación de onda que contengan alguna verdad física, sin toda la complejidad matemática de las soluciones exactas de la ecuación de onda. Una de estas aproximaciones es el principio de Huygens*” (Klein, 1970, p. 18). Por su parte, Hecht, en relación con el fenómeno de difracción, comenta:

*“Sería interesante, aunque terriblemente poco práctico, abordar la difracción desde la perspectiva de la Electrodinámica Cuántica, la muy poderosa teoría contemporánea de la luz. En efecto, el análisis sería muy complejo y poco se ganaría en relación a un tratamiento más convencional. Sería viable mostrar cualitativamente cómo se puede aplicar la Electrodinámica Cuántica a algunas situaciones simples. La teoría clásica ondulatoria de la luz (según el principio de Huygens corregido por*

*Fresnel) es, sin embargo, más que suficiente y emplea un formalismo más simple”*. (Hecht, 2002, p. 496)

No sin razón se le brindan homenajes a Huygens, dando su nombre a un principio: la física que sobrevivió no fue la física de acción a distancia y sí la de los campos, física que inicialmente llenó el espacio con la materia etérea en la cual las ondas electromagnéticas se propagan. La construcción geométrica, derivada de las consideraciones sobre una onda mecánica longitudinal, sobrevive a los cambios de concepciones sobre la naturaleza de la luz: se mantiene válida aún cuando la luz es considerada como una onda mecánica transversal, tal como fue concebida por Young y Fresnel, e incluso cuando la luz pasó a ser tratada como una onda electromagnética, a partir de Maxwell. Además de eso, la construcción de Huygens parece anunciar lo que más tarde sería conocido como la teoría de la dispersión. Esos argumentos pueden explicar la reverencia a Huygens, reverencia que le realizan los libros de texto más avanzados (Klein, 1970; Hecht, 2002; Born y Wolf, 1890).

Según Kuhn (1982), los manuales son reescritos en cada nueva revolución. Es como si se pudiera asociar a cada revolución científica, una revolución de los manuales. Así, si las revoluciones en la ciencia pueden ser consideradas como un proceso – la comunidad científica no adhiere de inmediato a un nuevo paradigma –es de esperar que suceda lo mismo en ese otro sector de la producción de saberes –el escolar– que se manifiesta, entre otros medios, en los manuales didácticos.

En el estudio del concepto de campo (Krapas y Da Silva, 2008) se constató que la polisemia en los libros de texto se debe, en gran parte, a resquicios del pasado en los textos actuales. En el estudio se observa que, aunque sea indudable la desaparición del éter, la construcción de Huygens persiste, como ya lo hemos dicho, aún en los libros de texto más avanzados. Un ejemplo es el caso de Hecht. Contando con una teoría más avanzada para dar cuenta de la difracción, como es la teoría de la dispersión, prefiere reverenciar a Huygens – corregido por Fresnel – alegando que

*“la teoría clásica ondulatoria de la luz es, en principio, más que suficiente y emplea un formalismo más simple”* (Hecht, 2002, p. 496)

Está claro entonces que los autores de libros introductorios de Óptica optan por la construcción geométrica dada la simplicidad del formalismo matemático asociado, pero se paga el precio de introducir problemas de diversos órdenes, tales como los que acabamos de presentar. Hay, sin embargo, opciones para superar este dilema. Se producen verdaderas creaciones didácticas. La transposición efectivamente realizada en libros de texto como el de Guimarães y Fonte Boa (2001a) se encuentra despersonalizada y descontextualizada. Sin hacer mención al “principio”, el esquema de la figura 6 es el resultado de la transformación del *saber sabio* (figura 2) en *saber enseñado*, en la medida que las ondas secundarias ya no aparecen y los frentes de onda refractada se obtienen a partir de otras consideraciones, tal como se ha mostrado anteriormente. Vemos, por lo tanto, como no necesaria, y hasta perjudicial para la comprensión del texto, la transcripción de párrafos del *Tratado*. Es sorprendente el caso de Nussenzveig. Después de la transcripción de párrafos relativos a la figura 1, para cuya comprensión hemos realizado tantas consideraciones, la conclusión del autor acerca del texto es simplificadora e, incluso, desconectada. (Nussenzveig, 1992, p. 229-232).

Con la despersonalización, propia de la transposición didáctica, se recurre al argumento de autoridad asociado con citas de antiguos científicos. Otra ventaja es que, siendo la transposición libre para crear, no queda obligada a la fidelidad del texto histórico, huyendo de las críticas de los historiadores de la ciencia. No se trata ya de la voz de Huygens, sino de la del autor del libro didáctico. Por otro lado, no se puede esperar que la apropiación de la historia de la ciencia por parte de la enseñanza se realice bajo la forma de una “aplicación”.

Resulta difícil, sin embargo, huir del dilema que se desprende de Kuhn (1982, p. 176)

*“Whitehead captó el espíritu a-histórico de la comunidad científica al escribir: la ciencia que se resiste a olvidar a sus fundadores está perdida”. De todos modos, Whitehead no estaba del todo acertado, ya que las ciencias, como otros emprendimientos profesionales, necesitan de sus héroes y reverencian su memoria. Felizmente, en vez de olvidar a sus héroes, los científicos, solamente han olvidado o revisado buena parte de sus trabajos”.*

Para finalizar, vale la pena destacar que queda abierta aún la cuestión de comprender las razones por las cuales los autores de libros de texto prefieren referirse a antiguos científicos en determinados temas, como el analizado en el presente trabajo, y no en otros.

## Notas

- <sup>2</sup> Muy popular, este equipo experimental está compuesto por péndulos idénticos y contiguos.
- <sup>3</sup> Tal como puede encontrarse en Born y Wolf (1980, p. 132) y Tipler y Mosca (2006), preferimos designar construcción a la contribución de Huygens y no principio, como se la denomina frecuentemente. Nuestras motivaciones son históricas: en primer lugar, para Huygens se trataba de una construcción, en la medida es consecuencia de su modelo físico; en segundo lugar, nos oponemos al término principio, término posiblemente introducido por transformaciones didácticas localizadas en épocas en las cuales se valorizaba el método hipotético-deductivo. Vale agregar además, que en Hecht (2002, p.496) se utilizan los términos hipótesis, técnica, además de principio; en Born y Wolf (1980, p. 132) la designación es teorema, además de construcción; en Tipler y Mosca (2006) también se encuentra método geométrico, además de construcción.
- <sup>4</sup> Su enunciado: *“cada punto de un frente de onda no obstruido constituye, en cualquier instante, una fuente de ondas esféricas secundarias u ‘onditas’ (con la misma frecuencia que la onda primaria); la amplitud del campo óptico en cualquier punto del espacio está dado por la superposición de todas esas ‘onditas’ (teniendo en cuenta sus amplitudes y fases relativas)”* (Hecht, 2002, p. 496)
- <sup>5</sup> Se obtienen conclusiones para la refracción a partir del esquema de la reflexión.
- <sup>6</sup> La refracción aparece en primer lugar bajo la forma del abordaje 4 y luego de introducir la construcción de Huygens, el abordaje planteado es el 3.
- <sup>7</sup> En una edición anterior (Halliday y Resnick, 1991; p.67) el abordaje era el 3.
- <sup>8</sup> Resaltado por los autores de este trabajo.

## Referencias

- Abrantes, P. (1998). *Imagens de Natureza, Imagens de Ciência*. Campinas: Papyrus.
- Astolfi, P. y Develay, M. (1990). *A didática das Ciências*. Campinas: Papyrus.
- Born, M. y Wolf, E. (1890). *Principles of Optics*. Oxford: Pergamon Press.
- Brasil. (2006). Ministério da Educação. *Portaria no 366*, de 31 de janeiro de 2006. Diário Oficial da União, edição no 23, 01 fev. 2006.
- Chaves, A. (2001). *Física. Ondas, Relatividade e Física Quântica*. Rio de Janeiro: Reichmann & Affonso.
- Chevallard, Y. (1998). *La transposición didáctica*. Buenos Aires: Aique.
- Einstein, A. e Infeld, L. (1976). *A evolução da Física*. Rio de Janeiro: Zahar editores.
- Gaspar, A. (2000). *Onda, Óptica, Termodinâmica*. São Paulo: Editora Ática.
- Gonçalves, A y Toscano, C. (2003). *Física para o Ensino Médio*. São Paulo: Scipione.
- Griffiths, D. J. (1999). *Introduction to Electrodynamics*. New Jersey: Prentice Hall.
- Guimarães, L. A. y Fonte Boa, M. (2001a). *Física: Termologia e Óptica*. Niterói: Futura.
- Guimarães, L. A. y Fonte Boa, M. (2001b). *Eletricidade e Ondas*. Niterói: Futura.
- Halliday, D.; Resnik, R. y Walker, J. (2007). *Fundamentos de Física. Óptica e Física Moderna*. Rio de Janeiro: LTC.
- Halliday, D. y Resnick, R. (1991). *Fundamentos de Física. Ótica e Física Moderna*. Rio de Janeiro: LTC.
- Hecht, E. *Óptica*. (2002). Lisboa: Fundação Calouste Gulbekian.
- Hewitt, P. G. (2002). *Física conceitual*. Porto Alegre: Artmed Editora.
- Huygens, C. (1986). Tratado sobre a luz. *Caderno de História e Filosofia da Ciência*, suplemento 4, 3-99.
- Klein, M. (1970). *Optics*. New York: John Wiley & Sons.
- Krapas, S. y Da Silva, M. C. (2008). O conceito de campo: polissemia nos manuais, significados na física do passado e da atualidade. *Ciência & Educação*, v. 14, n. 1, p. 15-33.
- Krapas, S.; Queiroz, G.; Uzêda, D. y Correia, J. P. (2008). *O Tratado sobre a Luz de Huygens: implicações didáticas*. Atas do VI Enpec, Florianópolis.
- Kuhn, T. (1982). *A estrutura das revoluções científicas*. São Paulo: Ed. Perspectiva.
- Máximo, A. y Alvarenga, B. (2002). *Curso de Física volume 3*. São Paulo: Editora Scipione.
- Newton, I. (1996). *Óptica*. São Paulo: Edusp.
- Nussenzveig, H. M. (1992). *Curso de Física Básica. Fluidos, Oscilações e Ondas, Calor*. São Paulo: Editora Edgard Blücher.
- Nussenzveig, H. M. (2002). *Curso de Física Básica. Ótica, Relatividade, Física Quântica*. São Paulo: Editora Edgard Blücher.
- Ramalho, F.; Nicolau, G. F. E. y Toledo, P. A. (1988). *Os Fundamentos da Física*. São Paulo: Editora Moderna.
- Sampaio, J. L. y Calçada, C. S. (2001). *Universo da física, 3: ondulatória, eletromagnetismo, Física moderna*. São Paulo: Atual.
- Shapiro, A. E. (1973). Kinematic Optics: a study of the wave theory of light in the seventeenth century. *Archive for History of Exact Sciences*, vol 11, 2/3.
- Silva, C. C. (2006). *Estudos de História e Filosofia das Ciências. Subsídios para aplicação no Ensino*. São Paulo: Editora Livraria da Física.
- Tipler, A. y Mosca G. (2006). *Física. Eletricidade e magnetismo, Ótica*. Rio de Janeiro: LTC.
- Villani, A. (1981). O confronto Lorentz-Einstein e suas interpretações. II. A teoria de Lorentz e sua consistência. *Revista brasileira de Ensino de Física*, 3(2), pp 55-76.
- Whittaker, E. (1958). *A History of Theories of Aether and Electricity*, volume 1. Londres: Thomas Nelson and Sons.

## Agradecimentos

Agradecemos al profesor Paulo Acioly Marques dos Santos por las valiosas conversaciones y precisas referencias bibliográficas.