

## Práctica #1.1

# Simulaciones de los fenómenos de reflexión y refracción de la luz<sup>1</sup>

En la Práctica #1 se presentan a los estudiantes las plataformas de simulación que se utilizarán en algunas de las prácticas del curso. Estas plataformas de simulación computacional se utilizan para el estudio de distintos fenómenos ópticos. En la segunda semana de la práctica se trabajará con los fenómenos de la reflexión, la refracción de la luz y otros fenómenos asociados. Además, se comentarán algunas aplicaciones y se identificarán algunos fenómenos ópticos cotidianos asociados con estos principios.

### Objetivo general:

Analizar fenómenos ópticos asociados con los principios de reflexión y refracción de la luz mediante experimentos realizados por simulación computacional.

### Objetivos específicos:

1. Conocer las plataformas educativas de simulación computacional para la experimentación de fenómenos físicos.
2. Utilizar simulaciones computacionales para comprender los principios físicos asociados con los fenómenos de reflexión y refracción de la luz.
3. Explorar con el simulador las condiciones en las que se produce la reflexión total interna.
4. Conocer algunas aplicaciones de los principios de reflexión y refracción de la luz, así como otros fenómenos ópticos relacionados.
5. Identificar fenómenos ópticos cotidianos que se puedan explicar con los principios de reflexión y refracción de la luz.

### Introducción

Con nuestros ojos podemos percibir las propiedades físicas de los sistemas como la distancia, la separación, la profundidad, el tamaño, la dirección y la velocidad de movimiento, pero también podemos apreciar otros atributos como una actitud amenazadora, una actividad riesgosa, el brillo de las rocas, los reflejos en el agua, la madurez de los frutos o los colores del crepúsculo. Tanta importancia le damos a nuestra visión que nos cuesta imaginar el mundo sin esta habilidad. Exaltamos nuestra capacidad de percibir la luz y sus colores tanto en la literatura como en la pintura o la fotografía. En cuanto a nuestras capacidades visuales, sentimos que estamos en la cúspide del reino animal y nuestra cultura nos confirma esta presunción. Pero en realidad, nuestros ojos solo

---

<sup>1</sup> Guía elaborada por el profesor Ernesto Montero Zeledón

son unos instrumentos rudimentarios comparados con las capacidades de otros seres vivos o al compararlos con las potencialidades que la ciencia y la tecnología han desarrollado.

Nuestra capacidad de percibir una pequeña región del espectro de ondas electromagnéticas ha convertido este fenómeno en uno de los más venerados y mitificados de la historia de la humanidad. En el fondo, la mayoría consideramos imprescindible nuestra percepción visual, aunque sepamos (por experiencias ajenas) que no es imposible sobrevivir sin esta habilidad. Tanta importancia le hemos dado a la visión, que en distintas culturas la luz se asocia con los conceptos de esperanza, claridad explicativa, inteligencia, conocimiento y verdad. De modo que donde hay luz, hay optimismo, está lo bueno y hay confort, pero donde no hay, abunda la tristeza, la maldad y el desamparo. Pero lo más curioso de esta noción tan difundida, es que ahí donde el ser humano solo ve oscuridad, hay otros seres vivos que perciben luz. La realidad es mucho más amplia y compleja de lo que la región visible del espectro electromagnético revela. La realidad, nuestra propia realidad, está más allá de lo que percibimos con los ojos y con nuestros limitados sentidos.

La mayoría de los cuerpos no emiten luz por lo que, para poder verlos, debemos iluminarlos. Durante miles de años, la humanidad solo fue capaz de ver su entorno con la luz del Sol en el día o con la luz de la Luna durante las noches. Pero a diferencia de una noche clara de Luna llena, la luz del día sí genera la sensación de color en los objetos. De hecho, los atributos visuales de los cuerpos iluminados dependen del tipo de fuente de luz utilizada para alumbrarlos. En otras palabras, el color de la mayor parte de los objetos que vemos (personas, libros, frutas, animales, árboles, rocas) las vemos por la reflexión de la luz producida en su superficie.

#### *Reflexión y refracción de la luz*

El principio de reflexión de la luz se conoce desde hace muchos años y fue explicado independientemente por distintas culturas. Hasta donde sabemos, el primero en descubrir el principio de reflexión de la luz fue Euclides en el siglo III a.C [1]. En el siglo X, el científico árabe Ibn Sahl descubrió la ley de refracción, pero su descubrimiento no fue reconocido sino hasta hace unas tres décadas [2]. En el siglo XI, otro científico árabe llamado Abu Alhazen, también explicó el fenómeno de la refracción y, aparentemente, sus obras fueron estudiadas por monjes europeos en el siglo XII, lo cual les permitió desarrollar un importante instrumento, los lentes de lectura. Sin embargo, la visión europeo-centrista que ha predominado en occidente desde la etapa colonial denomina esta ley de refracción como Ley de Snell o Ley de Descartes, es decir, le pone el nombre de los científicos europeos que descubrieron el principio al inicio del siglo XVII, varios siglos después que los científicos árabes.

La experiencia nos muestra que cuanto más lisa y pulida es la superficie de un material o sustancia, más fácil es que se produzcan reflejos que permitan identificar los cuerpos reflejados: nuestro rostro mañanero en un espejo, la montaña y las nubes en la superficie de un pequeño lago, los automóviles y los viandantes en los ventanales de un edificio o los castillos de hadas en los charcos de agua (Figura 1). Estos ejemplos nos muestran lo frecuente que se produce este fenómeno óptico y lo poco que solemos analizarlo desde la perspectiva de sus principios físicos. Sabemos que cuando un material pierde su brillo, sus reflejos se vuelven borrosos y difusos, pero no solemos dedicar tiempo ni esfuerzo al análisis de las causas, ni al estudio de sus principios.



**Figura 1.** Reflejos de un Castillo en Disneyland París [3].

Por otra parte, la refracción de la luz es otro fenómeno cotidiano que se presenta cuando la luz pasa a través de la frontera entre dos medios transparentes como el aire, el agua o el vidrio. Este fenómeno también está asociado con algunos fenómenos ópticos atmosféricos, como el arcoíris y los espejismos, y con algunos curiosos fenómenos que se presentan en la interfaz aire agua, como el cambio aparente de la profundidad de un objeto en el agua y la aparente “fractura” de un lápiz o una pajilla en un vaso de agua (Figura 2).



**Figura 2.** Lápiz que parece “quebrado” por la refracción de la luz [4].

Un fenómeno relacionado con la reflexión y la refracción, que se explica mediante la ley de refracción, es la reflexión total interna. Dicho fenómeno consiste en la reflexión completa de un haz al llegar a la frontera entre dos medios, aunque pareciera que todavía podía pasar al otro medio. En otras palabras, es un fenómeno que no permite que un haz de luz atraviese la frontera entre dos medios y por lo tanto, el haz se refleja totalmente dentro del mismo medio en el que incide. Este

fenómeno se produce para ciertos ángulos de incidencia y para fronteras entre medios con ciertas propiedades, pero tampoco es un fenómeno infrecuente.

### Trabajo de los estudiantes

En la introducción de su informe de la Práctica #1, sobre el fenómeno de la reflexión y la refracción, debe incluir los conceptos relacionados con estos temas. Se recomienda un libro de Física General como el Sears, Zemansky & Young [5], pero puede utilizar otro equivalente. Recuerde que la introducción se debe escribir en prosa y en tercera persona del singular, debe incluir los objetivos de la investigación y un marco teórico que permita conocer algunas propiedades y aplicaciones, así como comprender los principales conceptos y ecuaciones del fenómeno. Por ello, entre otros aspectos, la introducción debe incluir:

1. Una explicación de los principios de reflexión y refracción de la luz.
2. Las expresiones matemáticas que describen estos principios físicos.
3. Una figura o un esquema en donde se muestre cuál es el ángulo de incidencia, cuál es el ángulo de reflexión y cuál es el ángulo de refracción.
4. Una explicación de qué es el índice de refracción de un medio transparente, cómo se define y cuál es su significado.
5. Una pequeña tabla con los índices de refracción de unos pocos medios representativos como aire, agua, hielo, vidrio, cuarzo y diamante.
6. Una explicación de si el índice de refracción de un medio depende de la longitud de onda de la radiación y si esto está relacionado con la formación del arcoíris.
7. Una explicación del fenómeno de la reflexión total interna y de las condiciones en la que se produce.
8. Una mención general de los equipos utilizados para la medición de los índices de refracción de los materiales sólidos o líquidos.
9. Un breve comentario de, al menos, una aplicación práctica de la reflexión total interna.

### Plataformas de simulación requeridas

Para realizar las prácticas por simulación se requiere una computadora con conexión a Internet. Además, se pueden utilizar distintas plataformas de simulación como “Física en la escuela - HTML5”, creada por Vladimir Vascak, la plataforma de simulación oPhysics, elaborada en Geogebra por Tom Walsh, la plataforma Educaplus, desarrollada por Jesús Peñas, y la plataforma PhET de la Universidad de Colorado en Boulder.

**Tabla 1.** Direcciones de las plataformas de simulación simulaciones para esta práctica.

Plataforma	Autor	Sitio electrónico
PhET	Universidad de Colorado (EEUU)	<a href="https://phet.colorado.edu/">https://phet.colorado.edu/</a>
oPhysics	Tom Walsh (EEUU)	<a href="https://ophysics.com/index.html">https://ophysics.com/index.html</a>
Física en la escuela	Vladimir Vascak (República Checa)	<a href="https://www.vascak.cz/?id=1&amp;language=es">https://www.vascak.cz/?id=1&amp;language=es</a>
Educaplus	Jesús Peñas (España)	<a href="http://www.educaplus.org/games/fisica">http://www.educaplus.org/games/fisica</a>

Todas estas plataformas contienen simulaciones de experimentos de distintas áreas de la ciencia y la ingeniería, por lo que es recomendable que los estudiantes las consulten para ampliar sus conocimientos más allá de las necesidades de este curso. Evidentemente la cantidad de plataformas para realizar experimentos, que han surgido con la pandemia de Covid-19, es muy amplia, por lo que solo se muestra una parte de las que han demostrado su utilidad en el curso de Laboratorio de óptica.

### Procedimiento

Para realizar esta práctica de laboratorio se pueden utilizar las plataformas de simulación computacional, indicadas previamente. Pero de las simulaciones físicas disponibles, nos centraremos en la simulación de los fenómenos ópticos de la reflexión y refracción de la luz (Tabla 2). Para esta práctica se recomienda la simulación de la plataforma PhET, pero igualmente se anima a los estudiantes a explorar el funcionamiento de las otras plataformas.

**Tabla 2.** Direcciones de las plataformas de simulación simulaciones para esta práctica.

Tema	Vínculos electrónicos
Reflexión, refracción y reflexión total interna	<a href="https://phet.colorado.edu/sims/html/bending-light/latest/bending-light_en.html">https://phet.colorado.edu/sims/html/bending-light/latest/bending-light_en.html</a> <a href="https://ophysics.com/l7.html">https://ophysics.com/l7.html</a> <a href="https://www.vascak.cz/data/android/physicsatschool/template.php?s=kv_odraz_vlneni&amp;l=es">https://www.vascak.cz/data/android/physicsatschool/template.php?s=kv_odraz_vlneni&amp;l=es</a> <a href="https://www.vascak.cz/data/android/physicsatschool/template.php?s=kv_lom_vlneni&amp;l=es">https://www.vascak.cz/data/android/physicsatschool/template.php?s=kv_lom_vlneni&amp;l=es</a> <a href="http://www.educaplus.org/games/ondas">http://www.educaplus.org/games/ondas</a>

#### Primera parte: Principio de reflexión

1. Elija una simulación para estudiar el fenómeno de la reflexión (se recomienda la plataforma PhET).
2. Realice ensayos para aprender a trabajar la plataforma y la simulación elegida. La simulación debe contar con un láser y un transportador que permita medir el ángulo de incidencia y el de reflexión. Además, los medios de incidencia y de refracción deben poder elegirse de una lista de materiales habituales (aire, agua y vidrio) o ajustarse al índice de refracción elegido.
3. Genere una tabla en la que recopile las mediciones del ángulo de reflexión para seis ángulos de incidencia distintos entre  $10^\circ$  y  $80^\circ$ , que no estén a menos de  $5^\circ$  entre uno y otro. Puede utilizar los ángulos  $10^\circ$ ,  $20^\circ$ ,  $30^\circ$ ,  $40^\circ$ ,  $50^\circ$  y  $60^\circ$ , pero también pueden escoger los ángulos al azar utilizando la función *RanInt* en las calculadoras Casio.

#### Segunda parte: Principio de refracción

1. Utilice la simulación de la plataforma PhET para estudiar el fenómeno de la refracción.
2. Realice ensayos para comprobar el adecuado uso de la plataforma y la simulación elegida. La simulación debe contar con un láser y un transportador que permita medir el ángulo de incidencia y el de refracción. Además, los medios de incidencia y de refracción deben poder elegirse de una lista de materiales habituales (aire, agua y vidrio) y una lista de materiales misteriosos (*Mystery A* y *Mystery B*). En última instancia es conveniente que el índice de refracción del medio pueda ajustarse a un valor definido.
3. Genere una tabla en la que recopile las mediciones del ángulo de refracción para seis ángulos de incidencia distintos entre  $10^\circ$  y  $80^\circ$ , que no estén a menos de  $5^\circ$ . Debe utilizar

las siguientes tres interfaces, en el orden medio incidente-medio refractante: (a) la interfaz aire-agua, (b) la interfaz aire-Mystery A y (c) la interfaz vidrio-Mystery B.

#### *Tercera parte: Reflexión total interna*

1. Utilizando el simulador de la plataforma PhET para estudiar el fenómeno de la refracción, realice ajustes del ángulo de incidencia y cambios en los medios involucrados para identificar sistemas (Medio 1-Medio 2) en los que se produzca el fenómeno de la reflexión total interna. Procure utilizar medios de índice de refracción conocido (aire, agua, vidrio, hielo).
2. Una vez que identifique dos sistemas, con dos medios cada uno, anote los medios seleccionados y sus índices de refracción. Tome nota de los ángulos más pequeños a partir de los cuales se produce la reflexión total interna (ángulo crítico).
3. Realice ensayos con el simulador para determinar si cuando el haz atraviesa los medios, el orden de estos altera el resultado.

#### **Análisis de resultados**

Para realizar el análisis de resultados de cualquier práctica de laboratorio, es necesario consultar los objetivos de la práctica. A continuación, para facilitar el análisis de resultados de las tres partes de esta práctica se brinda la siguiente guía:

#### *Análisis de resultados de la reflexión*

1. A partir de sus resultados, genere una gráfica de dispersión del ángulo de reflexión en función del ángulo de incidencia.
2. Analice la gráfica generada. Comente la relación de su resultado con lo que establece el principio de reflexión de la luz.

#### *Análisis de resultados para la refracción*

1. A partir de la ley de refracción de la luz, defina dos nuevas variables que dependan del ángulo de incidencia y del ángulo de refracción, tal que se genere una gráfica lineal entre sus nuevas variables.
2. Se recomienda un cambio de variable basado en la forma habitual de la ley de refracción. Se propone un cambio como el siguiente:  $Y = \sin\theta_1$ ,  $X = \sin\theta_2$  y la pendiente  $m = n_2/n_1$ .
3. Utilizando el método de mínimos cuadrados, determine la pendiente de la recta de ajuste y compruebe que ésta tiene una pendiente que equivale al cociente de los índices de refracción de los medios.
4. En caso de que desconozca el índice de refracción de uno de los medios, determine mediante el valor de la pendiente, el índice de refracción de cada medio misterioso.

#### *Análisis de resultados para la reflexión total interna*

1. A partir de la teoría, establezca si el orden en que la luz atraviesa los medios altera el fenómeno de la reflexión total interna.
2. Determine el ángulo crítico entre los medios seleccionados utilizando los índices de refracción de los medios, como indica la teoría.
3. Compare el valor del ángulo crítico hallado teóricamente con el valor experimental, determinado con la simulación, mediante un porcentaje de error. Para estos cálculos, suponga que el ángulo determinado a partir de la teoría es el correcto.

*Análisis general de resultados*

1. Comente, desde el punto de vista del equipo de estudiantes, la importancia práctica que puede tener para un ingeniero el conocimiento de estos principios.
2. Según sus lecturas y lo expuesto en clase por el profesor y los compañeros, comente al menos una aplicación tecnológica de importancia, relacionada con estos fenómenos.

**Referencias**

- [1] Hecht, E. (2017). *Óptica* (5ta Edición). Eslovenia: PEARSON Educación.
- [2] Khan, S. A. *Orígenes árabes del descubrimiento de la refracción de la luz*. Novedades sobre óptica y fotónica 18.10 (2007): 22.
- [3] Imagen de Pinterest. Recuperada el 2 de agosto de 2021. Ubicación web: <https://www.pinterest.com.mx/pin/510806782717053543/>.
- [4] Imagen recuperada de Kasvi: Refratômetro – princípios e aplicação. Recuperada el 2 de agosto de 2021. Ubicación web: <https://kasvi.com.br/refratometro-aplicacao/>.
- [5] Young, H.; Freedman, R. & Ford, A. "Física universitaria de Sears y Zemansky". Vol. 2. Decimotercera Edición, Editorial Pearson, 2014.