

EL EFECTO FOTOELÉCTRICO

JUAN MANUEL CELIS OSPINA
BENJAMÍN ESCOBAR JARAMILLO
JUAN ESTEBAN JARAMILLO RAMOS
JERÓNIMO MONTOYA GIRALDO

Asesora:

MARGARITA MARIA VALENCIA AGUILAR

UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA

COLEGIO DE LA UPB

MARINILLA - ANTIOQUIA

2020

AGRADECIMIENTOS

El proyecto de investigación realizado durante la estancia estudiantil en bachillerato fue de magna pertinencia para una formación académica, en lo que respecta a una conciencia proactiva e investigativa, en busca de respuestas ante problemáticas propias de su entorno, bajo una amplia gama de situaciones, desde las ciencias sociales y humanas, hasta totalmente cuantitativas y científicas. Ahora bien, a través de una creatividad intrínseca, y unos elementos verdaderamente propicios como son los referentes teóricos, y un amplio estudio metodológico, se logró, no únicamente encontrar circunstancias problema, sino de igual manera, resolverlas de manera eficaz; asimismo, se le acredita a la institución la constante motivación en temas de esta índole, bajo una verdadera formación profesional, y una inducción a los estudiantes para su comprensión y posterior interés sobre lo que respecta a la investigación. De igual manera se agradece y se resalta la importancia de los asesores en lo que concierne a la consolidación de manera clara y precisa, los diversos caminos que el estudiante selecciona, pues con la creatividad y motivación del estudiante, más los saberes y experiencias de la asesora terminan por generar una estructura sólida. Finalmente se agradece a los docentes involucrados en la cátedra, bajo unas rigurosas, pero importantes inducciones en lo que respecta a la selección de información y otros elementos relevantes para la vida profesional, pues se reconoce su verdadero interés, y genuina entrega bajo la formación de seres humanos preparados para innovar en el mundo moderno.

CONTENIDO

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	5
2. JUSTIFICACIÓN.....	6
3. OBJETIVOS.....	7
3.1. Objetivo General.....	7
3.2. Objetivos específicos	7
4. MARCO TEÓRICO	8
4.1. Mecánica cuántica.....	8
4.2. Efecto fotoeléctrico.....	10
4.3. Científicos notables	12
4.4. Aplicaciones del efecto fotoeléctrico.....	14
5. METODOLOGÍA	15
5.1. Según el objeto de estudio	15
5.2. Diseño experimental	15
5.3. Investigación cuantitativa y cualitativa	15
5.4. Técnicas de recolección de datos	16
6. PRÁCTICA VIRTUAL	17
6.1. Laboratorio Virtual PhET Colorado “Efecto Fotoeléctrico”	17
6.1.1. A. Experimentación con sodio.....	17
6.1.2. Condiciones del sistema.....	17
6.1.3. Primeras interpretaciones	17
6.1.4. Interpretaciones a partir del cambio de variables	18
6.1.5. Anomalía en la constante nanométrica	19
6.1.6 Gráficas y figuras.....	20

6.2.B. Experimentación con Zinc	21
6.2.1. Condiciones del sistema.....	21
6.2.2. Primera Interpretación	22
	6.2 3. Variables 22
6.3.C. Experimentación con el platino	25
6.3.1. Condiciones del sistema.....	26
6.3.2. primeras interpretaciones	26
	6.3.3. Variables 26
6.4.D. Experimentación con Cooper	29
6.4.1. Condiciones del sistema.....	29
6.4.2. Primeras interpretaciones	29
	6.4 3. Variables 29
7. PRÁCTICA EXPERIMENTAL	34
7.1.A. Experimento con electroscopio y luz ultravioleta.....	34
7.2.B. Experimento con materiales reactivos y Luz de 365nm.....	35
8. RESULTADOS Y ANÁLISIS	37
8.1. Practica Virtual PhET.....	37
	8.1.1. Sodio 37
	8.1.2. Zinc 38
	8.1.3. Platino 38
	8.1.4. Copper 39
8.2. Práctica Experimental.....	40
8.2.1. A. Electroscopio	40
8.2.2. B. Materiales Reactivos	40
9. CONCLUSIONES	42

REFERENCIAS.....44

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Desde los hallazgos científicos, el hombre se ha visto en la curiosidad de explorar nuevos horizontes, donde se consiga analizar diferentes fenómenos a su alcance, siendo uno de los más relevantes la concepción de la óptica a través de la luz, curiosidad que con el avanzar del tiempo y el progreso de la humanidad, trajo consigo, estudios y experimentos que se han realizado a lo largo de las décadas y que con eficacia han demostrado que mediante diferentes situaciones como el magnetismo o la ionización, el comportamiento de la luz tiende a variar. Gracias a estos estudios e interrogantes que se han generado, todos estos conceptos, son de gran interés para la comunidad científica en general, pues varias teorías y leyes, demuestran lo reactivo que puede llegar a ser la luz ante estímulos tan diversos, siendo todas estas situaciones muy pertinentes ante la tecnología que hoy nos permite avanzar de manera precipitada, aprovechándose de todos estos fenómenos para una mejor calidad de vida.

Cabe mencionar que, gracias a la constante de investigación, el comportamiento propio de la luz ha ampliado su rango en lo que se refiere a clasificación, pero con la inclusión de la mecánica cuántica en la ciencia, se ha podido observar cómo diversos estímulos cambian por completo su comportamiento. Esto trae para sí, una gran incógnita con respecto a cómo diversos efectos externos, afectan directamente las propiedades de la luz, pero de igual manera, evoca una oportunidad para transformar todas estas incongruencias y estudios parciales en proyectos tecnocientíficos aplicables para la sociedad, sea en cuestiones de conocimiento e investigación o en efectos más directos como la transformación de la energía misma.

Con base en lo anteriormente planteado surge el siguiente interrogante:

¿Cómo se pueden aprovechar de manera innovadora los diferentes efectos que inciden directamente en el comportamiento de la luz?

2.

JUSTIFICACIÓN

El estudio de las aplicaciones que puede tener el efecto fotoeléctrico con respecto a cambios en las partículas elementales como los electrones son de sumo interés, pues a pesar de su atávico descubrimiento, la innovación ante el gran provecho en el cual se le ha empleado en diversos artilugios ha sido constante como exponencial. La luz, en su abstracción como fotones nos ha permitido interpretar el comportamiento de las partículas elementales y a su vez, emplear tal conocimiento en la producción energética de manera renovable como de igual manera la concepción del fotón, donde, no únicamente se le limita a lo que se conoce como “luz visible” sino que por su parte, se le introduce en lo que concierne al espectro electromagnético, y se le relaciona directamente con el magnetismo, permitiendo obtener una diversidad de variables ante su comportamiento y generando una mejor concepción de la inverosímil mecánica cuántica.

De igual manera, a pesar de la longevidad del tema, la comunidad científica continúa avanzando en el concepto propio del fotón y sus interacciones con la cuántica, además de diversos estímulos externos, como la observación, donde se puede generar una perturbación en su comportamiento. Esto por su parte es de verdadera pertinencia, pues la aplicación de este proyecto podrá consolidar y contribuir a la cosmovisión general del fotón.

Finalmente, los diversos referentes que se presentarán en el proyecto, fungirán como respaldo ante la diversidad de hipótesis y conceptos planteados, como a su vez, la recopilación de estudios recientes para una construcción con suficiente validez ante su trascendencia tecnocientífica y sus posibles aplicaciones en la sociedad.

3.

OBJETIVOS

3.1. Objetivo General:

Demostrar a través de laboratorios virtuales de prácticas interactivas y laboratorios sencillos la innovación científica del efecto fotoeléctrico y su relación con la física cuántica.

3.2. Objetivos específicos:

- ✚ Estructurar experimentos caseros y sus posibles utilidades en las aplicaciones científicas del efecto fotoeléctrico.

- ✚ Clasificar los efectos de las funciones energéticas bajo la aplicación del efecto fotoeléctrico en los manipuladores virtuales.

4. MARCO TEÓRICO

El presente marco teórico se encuentra estructurado en cinco categorías para abordar lo relacionado con el efecto fotoeléctrico. En primera instancia se tocará el tema de mecánica cuántica de un modo general, en el segundo apartado el efecto fotoeléctrico y su significado, la tercera categoría trata de los referentes históricos del estudio de los cuantos como base de los fenómenos fotoeléctricos, en el cuarto apartado se abordarán los científicos más relevantes que aportaron al descubrimiento del efecto fotoeléctrico y por ende avances significativos en la física cuántica y la quinta categoría hace referencia a la importancia del efecto fotoeléctrico a nivel de ciencia y tecnología.

4.1. Mecánica cuántica

La Mecánica Cuántica se ocupa del comportamiento de la materia y la radiación en las escalas atómica y subatómica. De esta forma procura describir y explicar las propiedades de las moléculas, los átomos y sus constituyentes: electrones, protones, neutrones, y otras partículas más esotéricas como los quarks y los gluones. Esas propiedades incluyen las interacciones de las partículas entre sí y con la radiación electromagnética. (Gratton, 2003).

Con base en lo anterior la mecánica cuántica aún no ha sido abordada en el ciclo de educación media ya que en ella solo se abordan todas las temáticas relacionadas con la física clásica, que si bien encierra argumentos válidos y de gran importancia para la comprensión de fenómenos físicos, al analizar el comportamiento de la materia a nivel corpuscular cabe resaltar que la física clásica se queda sin argumentos para estudiar la materia en sus dimensiones más asombrosas que implican partículas como los quarks, los fotones y los neutrinos entre otras partículas.

El comportamiento de la materia y la radiación en la escala atómica presenta aspectos peculiares; de acuerdo con ello las consecuencias de la Mecánica Cuántica no siempre son intuitivas ni fáciles de entender. Sus conceptos chocan con las nociones que nos resultan familiares porque derivan de las observaciones cotidianas de la naturaleza en la escala macroscópica. Sin embargo, no hay razones en virtud de las cuales el comportamiento del

mundo atómico y subatómico deba seguir las mismas pautas que los objetos de nuestra experiencia diaria (Gratton, 2003).

Gracias a los avances en el estudio de la mecánica cuántica es posible comprender en la actualidad la naturaleza de tantos fenómenos que presenta la materia en el mundo físico del planeta tierra al igual que todos aquellos que se presentan en el universo, los cuales hace algunas décadas cundo el pilar del estudio de la física solo se fundamentaba en la mecánica clásica. Todo se ha logrado con el estudio riguroso y constante de hombres y mujeres de ciencia, cautivados por los misterios que encierra el universo.

La mecánica cuántica difiere esencialmente de la mecánica clásica y se aplica a todo sistema cuántico, cualquiera que sea su estructura o tamaño (existen sistemas cuánticos macroscópicos, como puede ser un cristal, un superconductor, un láser, etc). Para asentar esta teoría fue necesario abandonar muchas ideas viejas y cambiar principios bien establecidos; por ejemplo, se requirió primero convencerse de la realidad física de la estructura atómica de la materia, mostrar después que la mecánica newtoniana no es directamente aplicable al estudio del átomo, que la electrodinámica de Maxwell no describe exhaustivamente el proceso elemental de interacción entre un átomo y el campo de radiación, etcétera. (De la Peña, 2006).

Para comprender los acontecimientos que se presentan en el mundo macroscópico y de igual modo en el microscópico hay que romper paradigmas científicos que se habían concebido invariantes durante muchos siglos, aún con el desarrollo de la física cuántica y todas las teorías que se desprenden de ella, existen muchos enigmas que esperan ser resueltos y entre ellos el más relevante sigue siendo el estudio del universo y los posibles universos paralelos que puedan existir, de igual modo descubrir si existen planetas con rasgos semejantes a la superficie y la atmosfera de la tierra.

En este orden de ideas se dará paso para tratar uno de los aspectos más relevantes que encierra la física cuántica y se trata del efecto fotoeléctrico.

4.2. Efecto fotoeléctrico

El efecto fotoeléctrico se puede entender de manera sencilla como sigue. Si iluminamos una superficie metálica con un haz luminoso de frecuencia apropiada (por ejemplo, se ilumina sodio con luz a una frecuencia de 6×10^{14} /seg) se emiten electrones de la superficie. Esta emisión de electrones desde la superficie por la acción de la luz se denomina efecto fotoeléctrico. (Cervantes - Cota, 2006).

El efecto fotoeléctrico se encuentra directamente relacionado con el comportamiento dual de la materia como onda y partícula. Desde la física clásica no era posible dar esa connotación al comportamiento de la materia y principalmente a la luz. Hay que tener presente que gracias a las aplicaciones del efecto fotoeléctrico como primicia de la mecánica cuántica es posible acceder al beneficio de aparatos e instrumentos que sin él sería imposible apreciar y por ende utilizar.

Ahora se abordará el componente histórico del efecto fotoeléctrico donde se encuentran inmersos varios científicos cuyos hallazgos condujeron a lo que en la actualidad denominamos física cuántica.

Se atribuye el descubrimiento del efecto fotoeléctrico a Heinrich Hertz en 1887, al tratar de probar la teoría de Maxwell sobre la radiación electromagnética, en esencia ondulatoria. ¡Qué contradicción! ya que fue la primera prueba experimental contundente a favor de la teoría de Maxwell, pero a su vez abrió el camino para los experimentos que mostraron el carácter corpuscular de la luz. El experimento consistía en provocar una chispa con una bobina de inducción y detectar los efectos de la radiación electromagnética emitida observando la existencia de otra chispa entre las puntas de un alambre enrollado en forma de círculo y a cierta distancia del emisor. Para observar mejor la pequeña chispa en el receptor, Hertz solía usar una cubierta oscura.

Al hacerlo notó que la chispa cambiaba de longitud y bajo ciertas condiciones incluso desaparecía, esto le permitió concluir que la luz proveniente de la chispa emisora era la

causante de este extraño fenómeno. De hecho, con un prisma descompuso la luz del emisor y descubrió que la chispa en el emisor era más intensa al ser expuesta a la luz ultravioleta. Alguien le sugirió usar ancas de rana como mecanismo detector de la radiación electromagnética. Así, este descubrimiento pudo no haber ocurrido si el uso de ancas de rana como receptores de la radiación electromagnética hubiera tenido éxito.

Al año siguiente, otro físico experimental en Dresden, Wilhelm Hallwachs, repitió el experimento con un arreglo experimental más simple. Lo que Hallwachs investigó fue el efecto de radiación electromagnética sobre objetos cargados negativamente. Hallwachs clarificó mucho el fenómeno, pero no dio más explicaciones sobre las posibles causas ni propuso alguna explicación teórica. El efecto fotoeléctrico también suele ser llamado efecto Hallwachs.

Más de una década después, J. J. Thomson probó que la luz ultravioleta, en los experimentos sobre el efecto fotoeléctrico, provocaba que las mismas partículas encontradas en los rayos catódicos fueran expulsadas del material, es decir, electrones. Ese mismo año, Philipp Lenard, discípulo de Hertz, comenzó una serie de experimentos sistemáticos que permitieron entender mejor este fenómeno de fotoemisión de electrones. Lenard, cargando una de las placas negativamente, agregó un potencial que tenía la función de oponerse al movimiento de los electrones foto emitidos, el potencial de frenado, cuyo valor de umbral es la energía cinética máxima de los electrones foto emitidos. Encontró que esta energía máxima no dependía de la intensidad del haz luminoso incidente, pero sí dependía de su frecuencia.

Estos hallazgos experimentales fueron la razón por la que Albert Einstein en su famoso trabajo de 1905 citará a Lenard.

En 1905 a Lenard se le otorgó el premio Nobel en Física por sus trabajos sobre rayos catódicos y se podría decir que los trabajos de Lenard le valieron a Einstein el Nobel en 1921. Lenard pasó de admirarle a detestarlo, e incluso formó parte en los años veinte de la sociedad anti-Einstein.

Los miembros de esta sociedad decían que Einstein y sus teorías formaban parte de un complot bolchevique, que habían llevado a la derrota a Alemania. Lenard, por su lado decía, que la física relativista era más “judía” que “bolchevique”. Por su lado los marxistas decían que la relatividad era más bien una teoría idealista. (Cervantes - Cota, 2006).

Con base en lo anterior cabe resaltar que el descubrimiento del efecto fotoeléctrico pasó por varias fases y fueron muchos los hombres de ciencia más relevantes en su hallazgo. Se debe tener presente que los descubrimientos a nivel de ciencia y tecnología deben someterse a rigurosa aplicación del método científico.

A continuación, se hará referencia a los científicos más notables que se dedicaron al estudio del efecto fotoeléctrico.

4.3. Científicos notables

Albert Einstein (1879-1955), cursó sus estudios primarios en una escuela católica, desde la infancia mostró excelencia para las ciencias naturales, pero no tanto para las áreas del lenguaje. Estudió posteriormente en el Gymnasium, Instituto de bachillerato, pero su rigidez militar le producía muchos problemas y polémicas con sus profesores, y no terminó el bachillerato. Su tío Jacob (un Ingeniero inventor) fue muy influyente en su vida, ya que con él conoció los libros de ciencia y nacería un cuestionamiento a las afirmaciones de la religión, del estado y la autoridad, en definitiva, un escéptico de libre pensamiento. En su juventud, - al no tener el título de bachiller- tuvo que rendir una prueba de acceso para ingresar a la Escuela Politécnica Federal de Zúrich, donde fue rechazado por una calificación deficiente en una asignatura de letras. El director le sugirió que terminara el bachillerato para que ingresara directamente al Politécnico. Su familia lo envió a la escuela cantonal de Argovia, donde terminó el bachillerato en 1896 a los 16 años. A fines de 1896 ingresó finalmente a la Escuela Politécnica Federal de Zúrich, Suiza para estudiar física, donde se graduó en 1890. Desde 1902 a 1909, trabajó en la Oficina Federal de la propiedad Intelectual de Suiza, en Berna y en 1904 finalizó su doctorado. En 1905 presentó cuatro trabajos sobre física de pequeña y gran escala. El primero explicaba “el movimiento browniano”, el segundo “el efecto fotoeléctrico”, el tercero “la relatividad especial” y el cuarto “la equivalencia masa energía” (Pilonitis, 2018).

Cabe resaltar la genialidad de Albert y su motivación por el estudio del universo, si bien para sus contemporáneos la revolución física que el proponía era carente de sentido y se convertía en una verdadera amenaza para la mecánica clásica. Albert Einstein rompía con los paradigmas y teorías

que hasta su tiempo se mantenían como bases sólidas para la física clásica, pero él con la geometría esférica y basado en el estudio de la geometría no euclidiana sentaba las bases para la física moderna.

Ahora se hará referencia a otro físico notable y de grandes aportes a la física moderna, se trata de Maxwell.

Sin duda uno de los más eminentes físicos de la historia. Niño prodigio, a los 15 años publica su primer artículo científico sobre óvalos, que luego tendría repercusión en el diseño de lentes. El artículo se consideró digno de leerse ante los miembros de la Royal Society, aunque al ser tan joven fue leído por un amigo de la familia. Al margen de su obra fundamental en electromagnetismo “Tratado sobre Electricidad y Magnetismo” de 1873, se le considera el padre de la teoría del calor y de la cinética de gases. Recibió el premio Adams en 1859, la medalla Rumford el año siguiente y la medalla de matemáticas de la academia de Edimburgo con solo catorce años. En 1865 publica “Una teoría dinámica del campo electromagnético” en la que, considerando el concepto de campo propuesto por Faraday, unifica y da coherencia a todo el conocimiento de los campos eléctricos y magnéticos que se tenía en el momento. Son las “leyes de Maxwell”, actualmente cuatro ecuaciones vectoriales, aunque originariamente en el trabajo de Maxwell eran 20. Estas cuatro ecuaciones recogen las leyes de Coulomb, Ampere y Faraday-Lenz y el teorema de Gauss. Además, añade a la ley de Ampere un término nuevo, la corriente de desplazamiento. Como resultado adicional obtuvo que la vibración del CEM tenía las características de la luz. La demostración experimental de dicho resultado vendría de mano de Heinrich Rudolf Hertz (1857- 1894) en 1888. (Revista Brasileira de Ensino de Física, 2018).

Cabe resaltar que los estudios y hallazgos de Maxwell condujeron las teorías de la física a campos más profundos de comprensión y marcaron un hito significativo que abriría el camino para el estudio de la física moderna de la cual se desprenderían todas las ramas que se conocen hasta la fecha y que han hecho una civilización con mayores progresos a nivel de ciencia y tecnología, si bien estos físicos de los cuales se hizo mención anteriormente fueron notables, pero también toda su fundamentación teórica se basó en sus antecesores que tampoco se les resta importancia. El estudio científico se va edificando en mentes prodigiosas que han surgido a lo largo de la historia de la humanidad y sin duda sus aportes son tan valiosos que gracias a ellos podemos disfrutar de tantas invenciones que en la actualidad facilitan la vida de las generaciones actuales y facilitarán la de

las nuevas generaciones.

En este orden de ideas y cumpliendo con la estructura establecida del marco teórico se hará referencia a lo correspondiente de las aplicaciones del efecto fotoeléctrico en la actualidad.

4.4. Aplicaciones del efecto fotoeléctrico

Es muy curioso que, en los lugares menos esperados, las ideas revolucionarias de Einstein están presentes. Las aplicaciones del efecto fotoeléctrico las encontramos en: cámaras, en el dispositivo que gobierna los tiempos de exposición; en detectores de movimiento, en el alumbrado público, como regulador de la cantidad de tóner en las máquinas copadoras, en las celdas solares muy útiles en satélites, en calculadoras y en relojes. Las aplicaciones las encontramos también cuando asistimos a una función de cine ya que el audio que escuchamos es producido por señales eléctricas que son provocadas por los cambios de intensidad de la luz al pasar por la pista sonora que viene en la cinta cinematográfica. Pero es muy interesante que el efecto fotoeléctrico se aplica en los ¡alcoholímetros! en donde la reacción del alcohol con una sustancia de prueba provoca cambios de color medidos por el dispositivo, la lectura nos permite entonces saber la concentración de alcohol en el individuo. Estamos inmersos en un mundo tecnológico que Einstein descubrió para nosotros. (Cervantes - Cota, 2006).

Con base en lo anterior cabe deducir que el efecto fotoeléctrico se encuentra inmerso en diversas situaciones de la vida cotidiana y de igual modo en muchos aparatos y artefactos que comúnmente se usan y de los cuales se desconocía el origen o pilar fundamental de su funcionamiento.

Quedan a nivel de ciencia y tecnología muchas cosas por descubrir, pero se debe tener presente que dichos descubrimientos no atenten contra la supervivencia de la especie humana, la ciencia debe estar al servicio de la vida, de lo contrario se convierte en una máquina de masiva destrucción.

5. METODOLOGÍA

5.1. Según el objeto de estudio

La investigación aplicada se enfoca en la resolución de problemas en un entorno específico, es decir, busca la aplicación o uso de conocimientos de uno o varios campos profesionales, con el propósito de materializar estos conocimientos de manera práctica para satisfacer necesidades específicas, brindando así soluciones a diferentes problemas.

Este método investigativo está directamente asociado con respecto a los objetivos centrales del proyecto pues permitirá comprobar con hechos prácticos el planteamiento.

5.2. Diseño Experimental

El diseño experimental es una técnica de índole estadístico - investigativo que se basa en organizar y diseñar una serie de experimentos de tal forma que, con el mínimo número de pruebas, se consiga extraer tanta información útil como se pueda para así optimizar la configuración de un proceso investigativo.

5.3. Investigación cuantitativa y cualitativa

La investigación cuantitativa es un método estructurado para recopilar y analizar datos obtenidos de diferentes fuentes. La investigación cuantitativa implica el uso de computadoras, estadísticas y herramientas matemáticas para obtener resultados. Su propósito es decisivo, porque intenta cuantificar el problema y comprender la amplitud del problema buscando resultados predecibles para una población mayor.

Por otro lado, la investigación cualitativa suele ser más exploratoria, que es la investigación que se basa en la recopilación de datos del habla, el comportamiento o la observación que se pueden explicar de manera subjetiva. Es remoto y generalmente se usa para explorar la causa de problemas potenciales que puedan existir. Suele aparecer antes o después de la investigación cuantitativa, según los objetivos de la investigación.

5.4. Técnicas de recolección de datos

Observación directa: a través de experimentos caseros, como también la implementación de simuladores virtuales, sometidos bajo situaciones particulares, se observará el objeto de estudio y sus diversos cambios en el entorno, de los cuales se tomará registro y posteriormente se analizará su comportamiento para una posible implementación innovadora. Tener en cuenta que esta observación directa no es intrusiva; una vez se hayan establecido los parámetros en los cuales se desarrollará el objeto en el medio, el observador no puede intervenir de ninguna manera, y únicamente se limitará en observar los cambios e interacciones propias del sistema planteado, obteniendo así resultados reales bajo condiciones específicas.

6. PRÁCTICA VIRTUAL

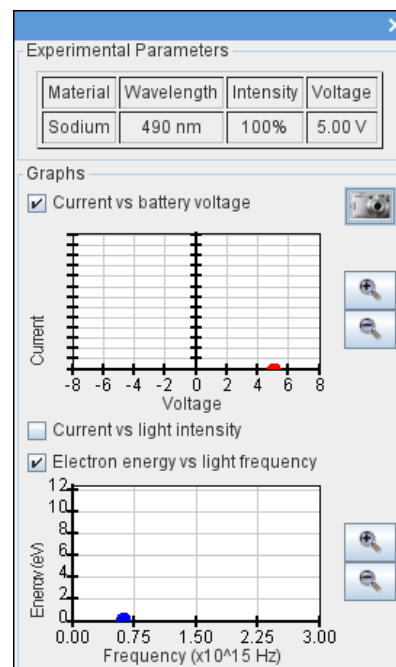
6.1.Laboratorio Virtual PhET Colorado “Efecto Fotoeléctrico”

6.1.1.A. Experimentación con Sodio

Todas las cifras, datos e información fueron adquiridas a través de las simulaciones virtuales de la plataforma PhET Colorado, bajo unas condiciones dadas en el sistema. Las conjeturas obtenidas a través de la simulación, están sustentadas por los resultados proporcionados de la misma, por lo tanto, y al tratarse de un diseño experimental bajo condiciones del entorno, no es plausible que se encuentre subjetividad y todas las interpretaciones tienen su respectivo referente a partir de una gráfica, y/o dato estadístico.

6.1.2. Condiciones del Sistema

- Target: Sodium (sodio), invariable.
- Intensidad: 100%, invariable.
- Rango en nanómetros: 100 nm - 850nm, variable.
- Voltaje: 5v, variable



6.1.3. Primeras interpretaciones

El sistema está estabilizado en unos 500 nm, no hay corriente, ni fotones desplazándose a través del foco de luz; en este estado, y con una batería constante de 5v, podemos observar que la corriente es 0, por lo tanto, no hay salto de electrones por parte del efecto mismo, pero cabe

destacar que la frecuencia de la luz nunca es 0; sin importar la intensidad, el voltaje o la corriente, siempre está en un valor por encima de 0, lo que lo hace directamente existente a la luz presente, sin importar su intensidad.

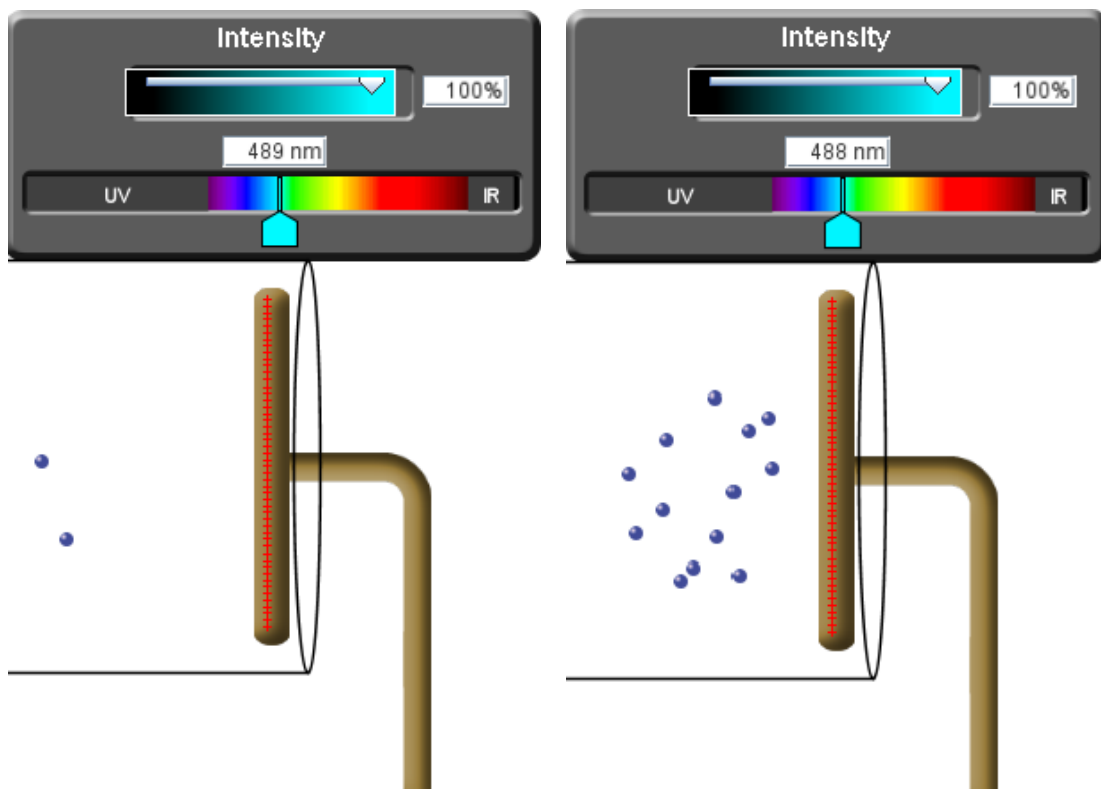
6.1.4. Interpretaciones a partir del cambio de variables

Se experimentó con las variables existentes en el sistema, y se detectó que la más relevante e incidente sobre todas, era los **nanómetros (nm)**, los cuales, inciden directamente en la corriente, pero por lo observado tienen un comportamiento verdaderamente curioso, y será descrito a continuación:

A. Todos los valores superiores a 489 nanómetros no generarán los suficientes electrones como para obtener al menos un 0,1% de corriente, por lo tanto, no habrá corriente alguna. (Fig. 1)
($X < 489 = \text{Corriente}$)

B. La corriente es inversamente proporcional a la cantidad de nanómetros; a menor cantidad de nanómetros, mayor cantidad de corriente. (Fig. 2)

Figura 1



Todas estas afirmaciones sustentadas bajo un entorno controlado, nos hace pensar que entre más pequeña sea la longitud de onda, aumentará de gran manera la corriente total, pero al continuar disminuyendo la cantidad de nanómetros, se detectó una anomalía verdaderamente interesante.

6.1.5. Anomalía en la constante nanométrica

Como bien se ha podido observar, a medida que disminuimos los nanómetros, la corriente aumenta, pero llega un punto donde la situación cambia y la constante se rompe; pues en algún momento, al disminuir nanómetros, la corriente también disminuye.

Como referencia se tiene 197 nm que generan una corriente de 1,733. Siguiendo el planteamiento inicial, al disminuir un nanómetro, la corriente debería aumentar su valor así:
197 nm = 1,733 Corriente. Entonces 196 nm > 1,733 Corriente.

Pero, al realizar este cambio, se obtuvo un valor de 196 nm = 1,729 Corriente.

Como bien se pudo observar, al disminuir el nanómetro, disminuyó de igual manera la corriente, lo que va totalmente en contra del planteamiento inicial, y también es incongruente con el comportamiento que llevaban los electrones hasta el momento. (Fig. 3)

Se continuó la disminución de nanómetros, y como era de esperar, la corriente también seguía disminuyendo constantemente, así:

180 nm = 1,588 Corriente. Entonces 120 nm = 1,059 Corriente. Entonces 100 nm = 0,082

Corriente. (Fig. 4)

Todo parecía indicar que, por lo visto a partir de los 196 nm, su disminución también disminuiría la corriente, de manera directamente proporcional, generando una nueva constante a partir de este valor, dándonos una zona de nanómetros óptimos representado así:

$X < 489 \text{ nm}$; $X > 196 \text{ nm}$.

Donde X, representa un valor de la corriente estable.

6.1.6 Gráficas y figuras

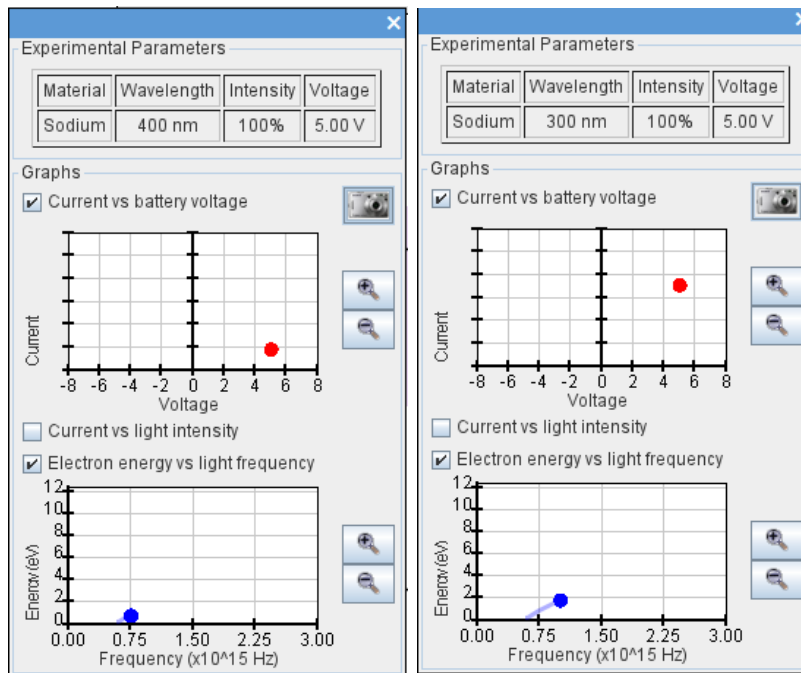


Figura 2
Inversamente
proporcional

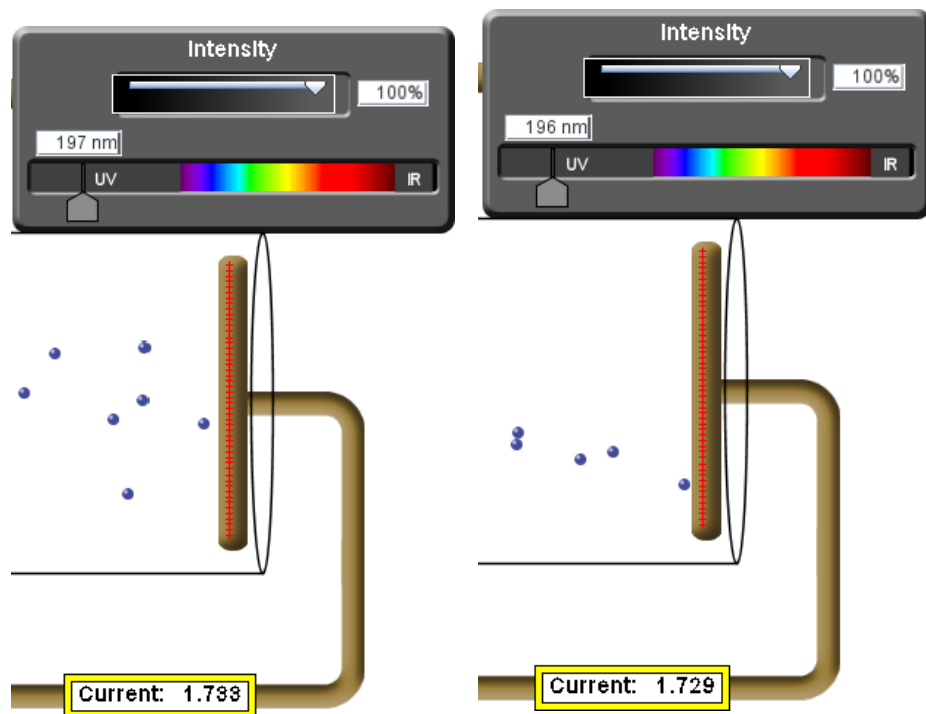
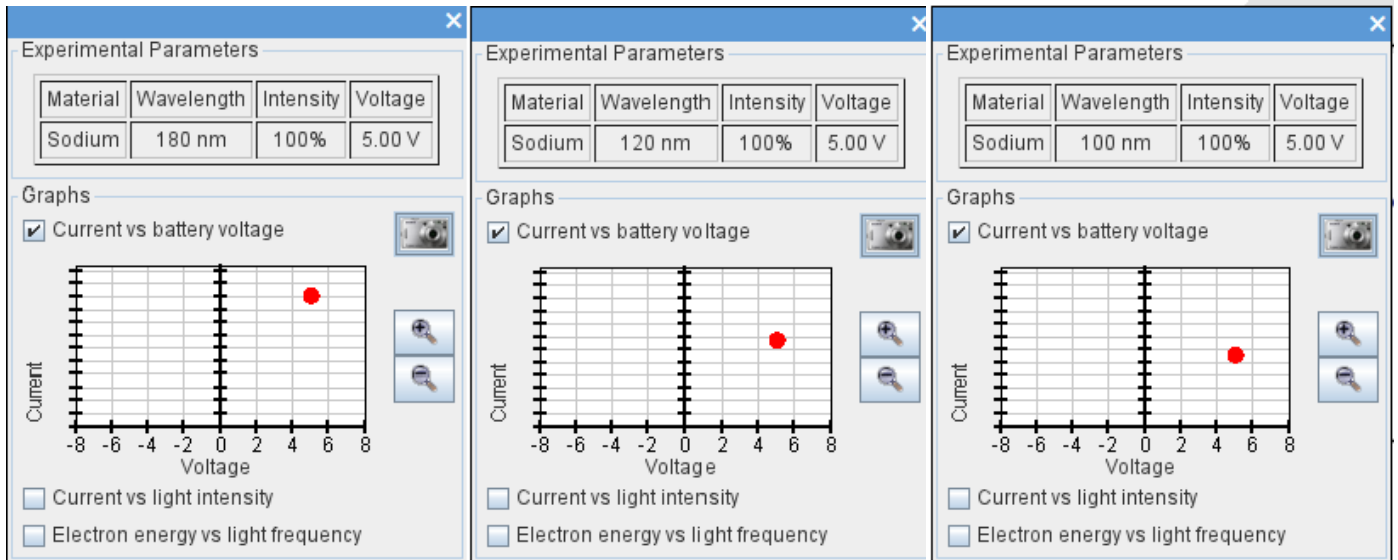


Figura 3
Anomalía

Figura 4
proporcionalidad



6.2.B. Experimentación con Zinc

La parte de la experimentación con el Zinc, es realizada por medio de la página PhET Colorado, de acuerdo con las condiciones dadas por el mismo sistema. Los resultados son analizados y tomados de la misma página, por lo que, al tratarse de un diseño experimental simulado, está sujeto a gran variedad de resultados.

6.2.1. Condiciones del sistema:

- Target: Zinc, invariable.
- Intensidad 100%, invariable.
- Rango en nanómetros: 100 nm. - 850 nm, variable.

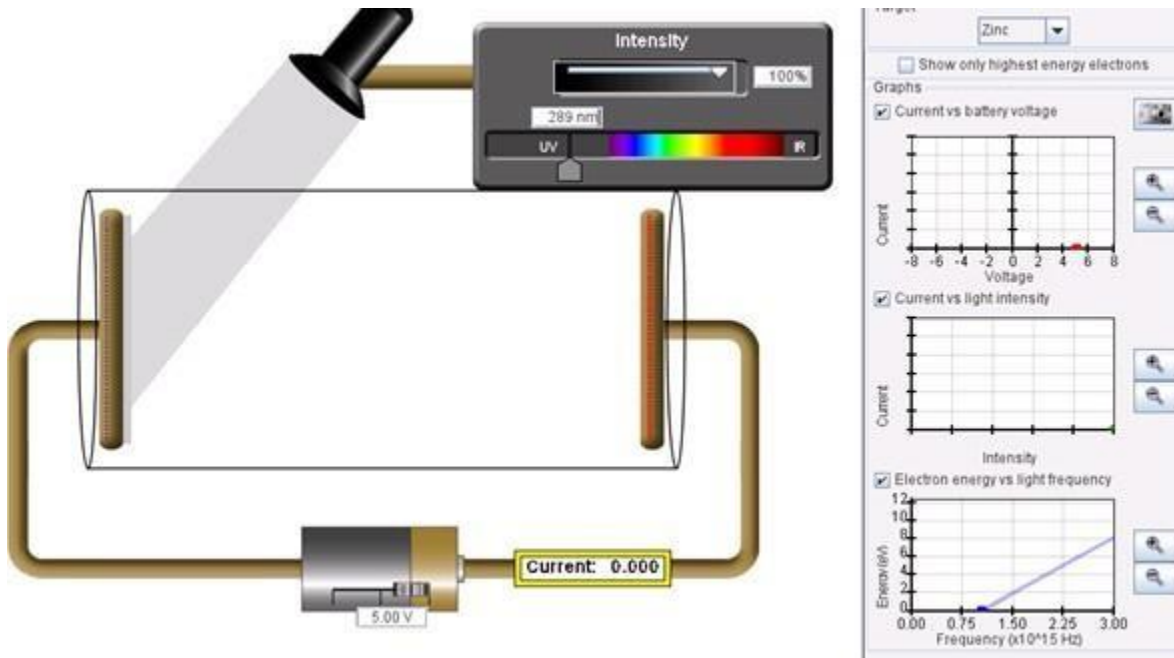
- Voltaje: 5V, variable.

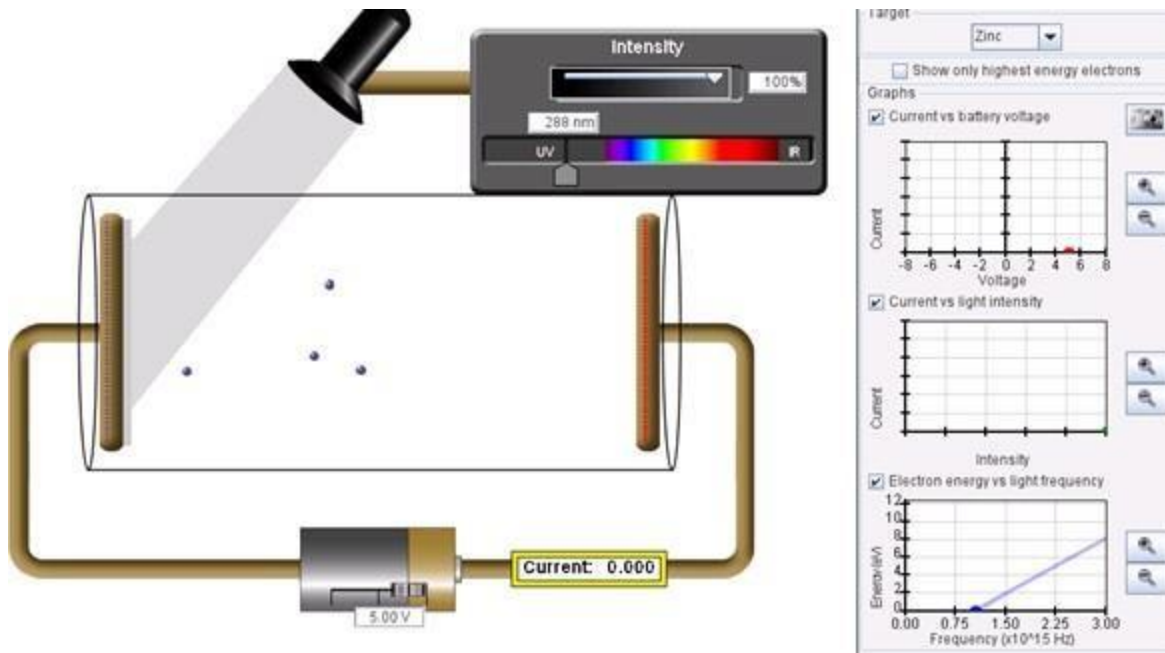
6.2.2. Primera interpretación

El sistema mantiene una estabilidad neutra a una frecuencia de 300 nm a pesar de tener un voltaje de 5V y una intensidad lumínica del 100% no hace presente la corriente ni liberación alguna de electrones (no se hace presente el efecto fotoeléctrico).

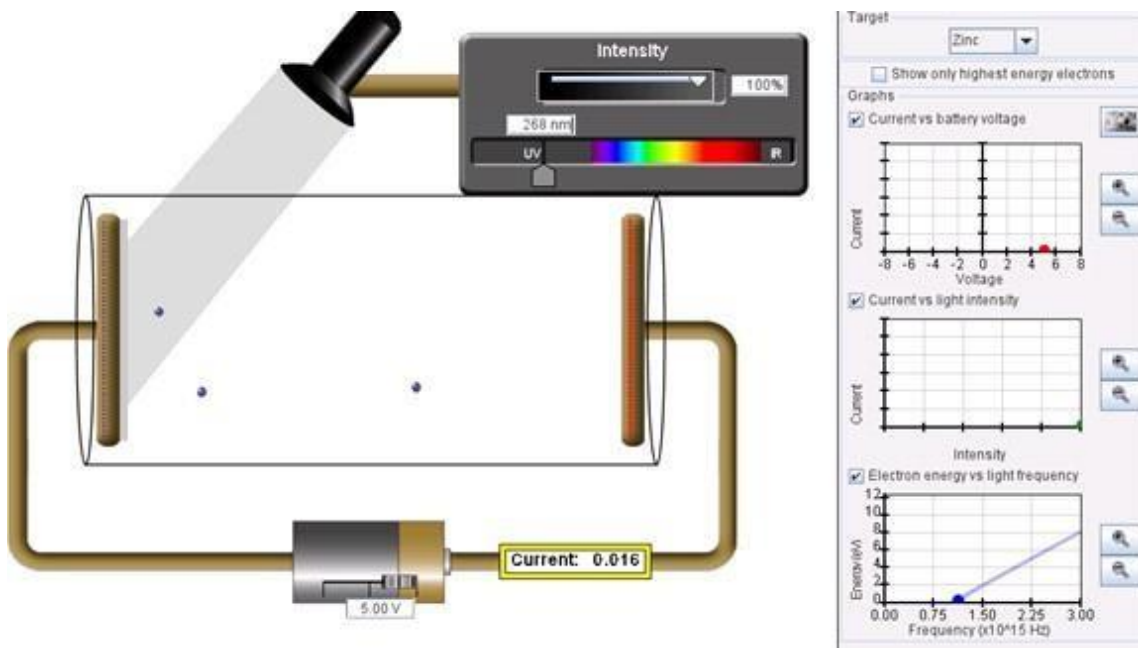
6.2.3. Variables

Notablemente, el principal influyente en el sistema, son los nanómetros, estos afectan, ya sea en la liberación de electrones, tanto como en la presencia de una corriente. Con una intensidad lumínica del 100% y un voltaje de 5V, se presencia la liberación de electrones (efecto fotoeléctrico) entre los 100 nm y los 288 nm, a una mayor frecuencia, no hay liberación de electrones.

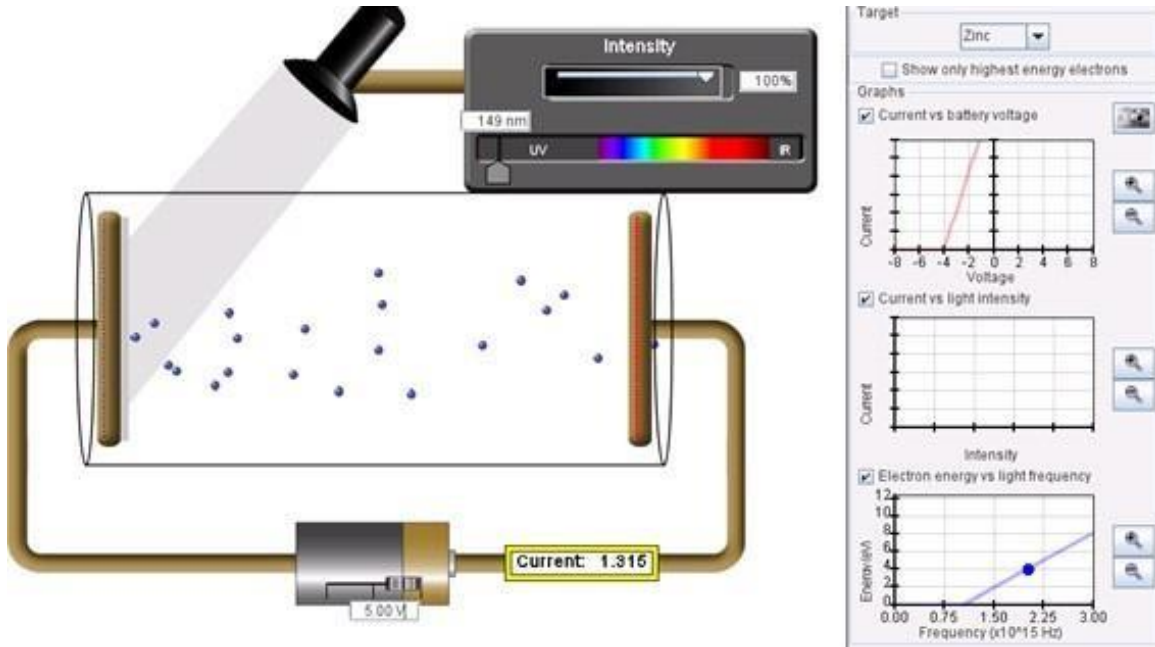




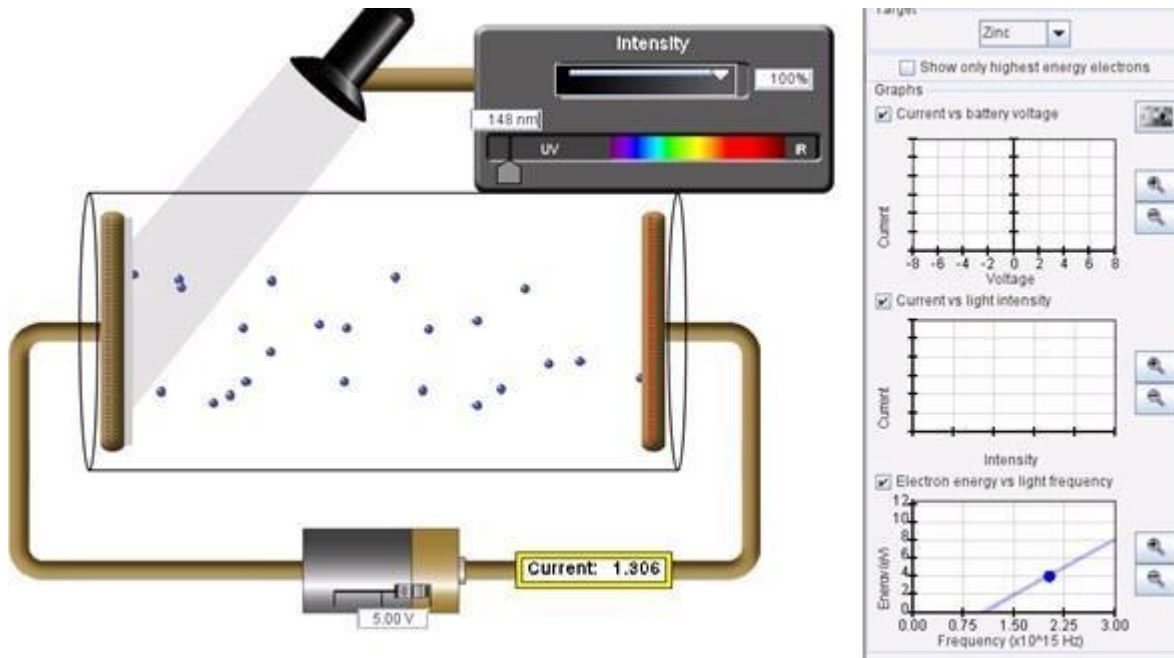
Sin embargo, el flujo de electrones, con uso de 288 nm- 269 nm, no parece ser suficiente para que exista una corriente, a partir de los 268 nm, hay una corriente y esta va aumentando respectivamente se disminuye la frecuencia (inversamente proporcional). Cabe destacar que los electrones se verán atraídos según la carga del voltaje.



Al seguir disminuyendo la frecuencia, como se supondría, la corriente seguiría aumentando de manera inversamente proporcional, tal y como se había planteado anteriormente; a pesar de esto, hay un punto en el que se evidencia una anomalía.



Tal y como se había planteado, mientras baja la frecuencia, la corriente aumenta. Al llegar a los 149 nm se alcanza la corriente máxima del sistema, pero ¿qué pasa cuando se disminuye un nm más? ¿La corriente sigue aumentando?



Burlándose de la teoría planteada hasta el momento, cuando λ (frecuencia nm.) $<$ 149 nm la corriente empieza a disminuir paradójicamente, así hasta a 0.882 con 100 nm aplicados, lo anterior, demuestra que hay un campo promedio, óptimo en el cual hay un equilibrio entre, la presencia del efecto en sí y un aumento en la corriente (248 nm- 149 nm).

6.3.C. Experimentación con el platino

Según las condiciones dadas por el mismo sistema, la parte experimental del platino se realizó a

través de la página PhET. Los resultados son analizados y realizados en la misma página donde se evidencian los cambios a través de simulaciones, este diseño de experimentación por simulación produce una variedad de resultados.

6.3.1. Condiciones del Sistema

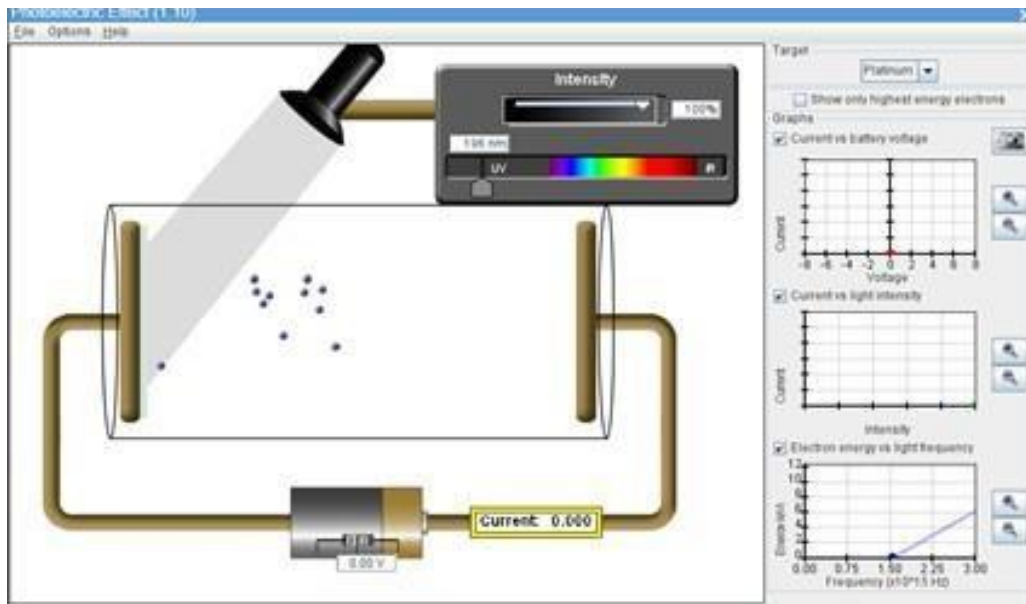
- Target: platinum (platino), invariable.
- Intensidad: 100%, invariable.
- Rango en nanómetros: 100 nm - 196 nm variable.
- Voltaje: 3.20v, variable

6.3.2. Primeras interpretaciones

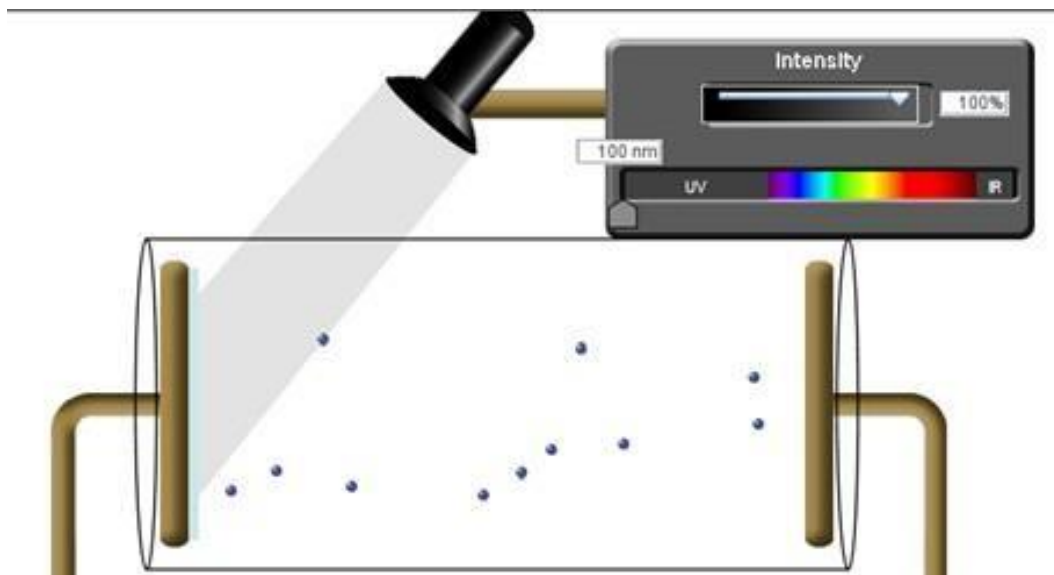
En primera instancia el efecto se pudo visualizar al tener 196 nm al tenerlo en un valor superior el efecto permaneció neutro y sin cambio alguno, al llevarlo a luz ultravioleta es donde se pueden ver el movimiento y por ende el efecto fotoeléctrico.

6.3.3. Variables

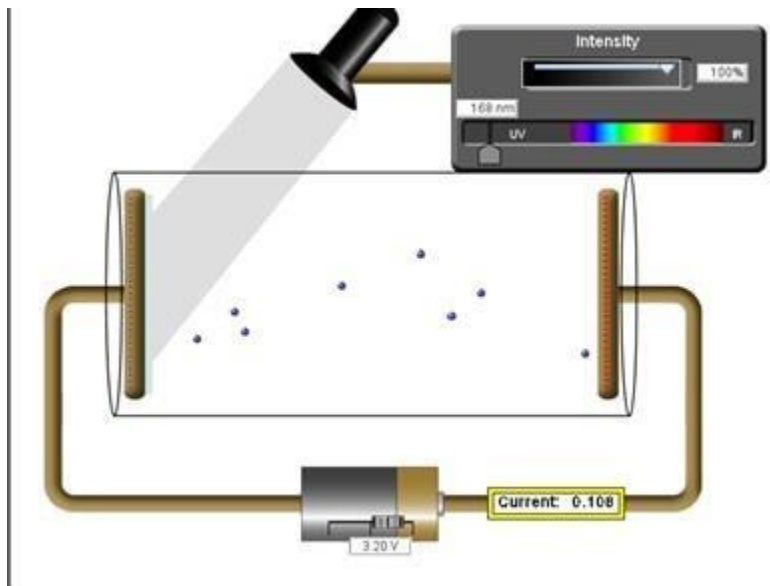
Cabe señalar que el principal factor de influencia en el sistema son los nanómetros, que inciden en la liberación de electrones y la existencia de corriente. Bajo una intensidad de luz del 100% y un voltaje de 0V, se observó la liberación de electrones (efecto fotoeléctrico) entre 100 nm y 196 nm, pudiendo comprobarse el efecto a partir de ahí, por encima de estos nm no hay liberación de electrones.



Aquí se logra evidenciar que con el material del platino (a una intensidad del 100%) se puede ver el efecto fotoeléctrico hasta los 196 nm (ultravioleta) donde no hay mucha actividad, pero se evidencia el efecto.



Al reducir sus nanómetros al punto de llegar a sus 100 nm se puede ver una mayor actividad en los electrones donde se ve un movimiento más acelerado, pero sus electrones no están tan amontonados como lo pasa a una mayor cantidad de nanómetros.



Al aumentar su voltaje (se utilizó 3.20v) positivamente se ve como este es atraído y su movimiento es mucho más acelerado debido a esta atracción, los electrones viajan a y se generan en una mayor medida gracias a este cambio en el voltaje (los nm están en 156 un punto medio) muchos de los cambios ocurridos se generaron al alterar el voltaje dado a que los electrones iban en orientación a la carga correspondiente dando pie a que se generarán cambios en el sistema. Dadas las evidencias en esta simulación se puede destacar que el platino trabaja sobre rayos ultravioletas lo que genera una mayor cantidad de electrones a medida que bajamos la intensidad de los nanómetros.

6.4.D. Experimentación con Cooper

Este experimento fue hecho a través de prácticas virtuales simuladas en la plataforma PhET Colorado, en unas circunstancias establecidas por el programa, los resultados pueden variar gracias a la cantidad de variables que este nos presenta. Los resultados de la parte de experimentación con zinc son los siguientes:

6.4.1. Condiciones del sistema

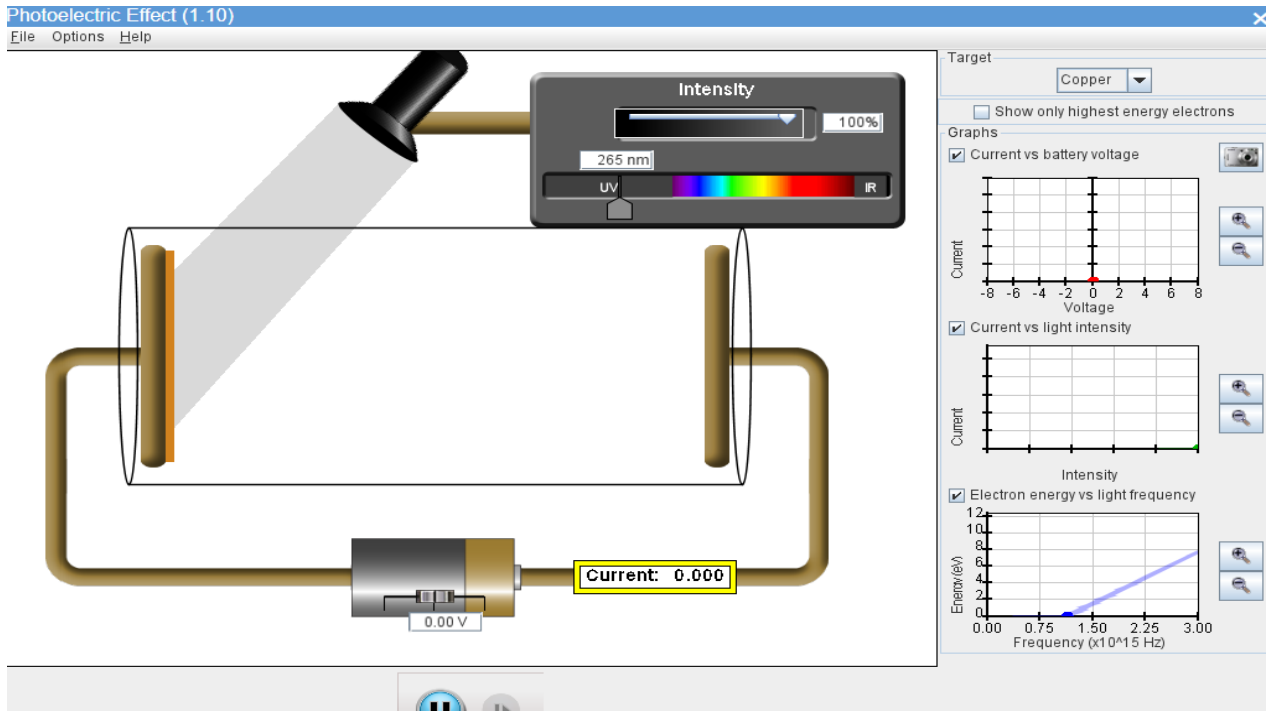
- Target: Cooper, invariable
- Intensidad 100%, invariable
- Rango en nanómetros 100 nm - 265 nm, variable.
- Voltaje: 1V, variable

6.4.2. Primeras interpretaciones

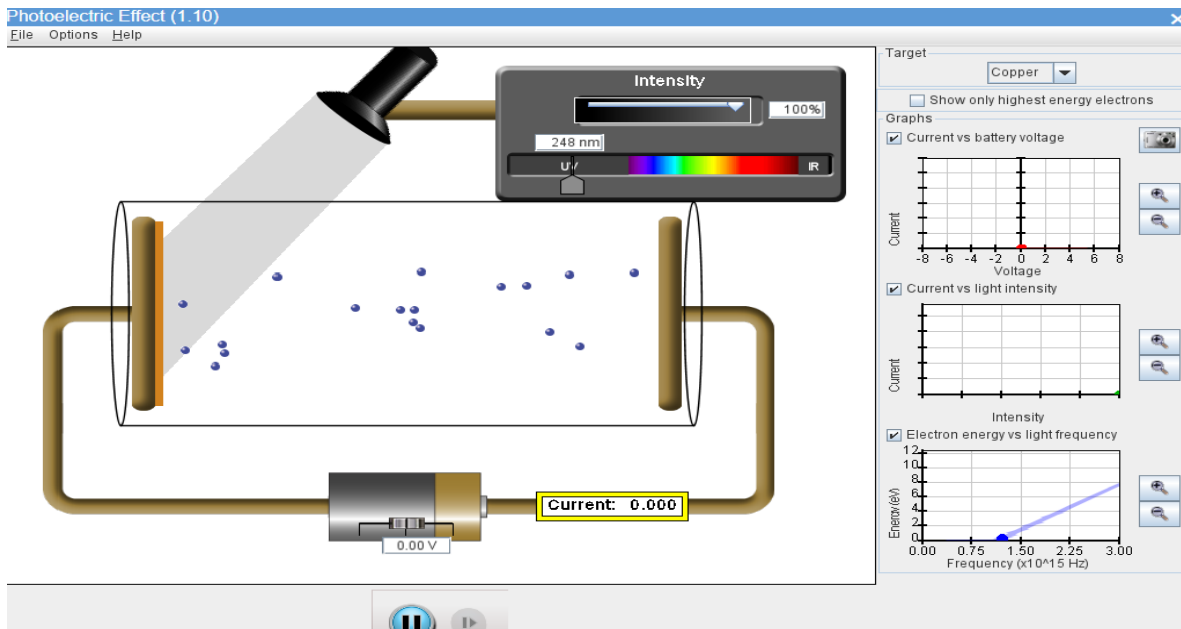
En este sistema se encuentra un momento estable al estar en 265 nm con la intensidad al 100% y un voltaje de 0, con este metal el experimento sólo puede soportar colores ultravioletas, para ser más específicos de 265 nm para abajo.

6.4.3. Variables

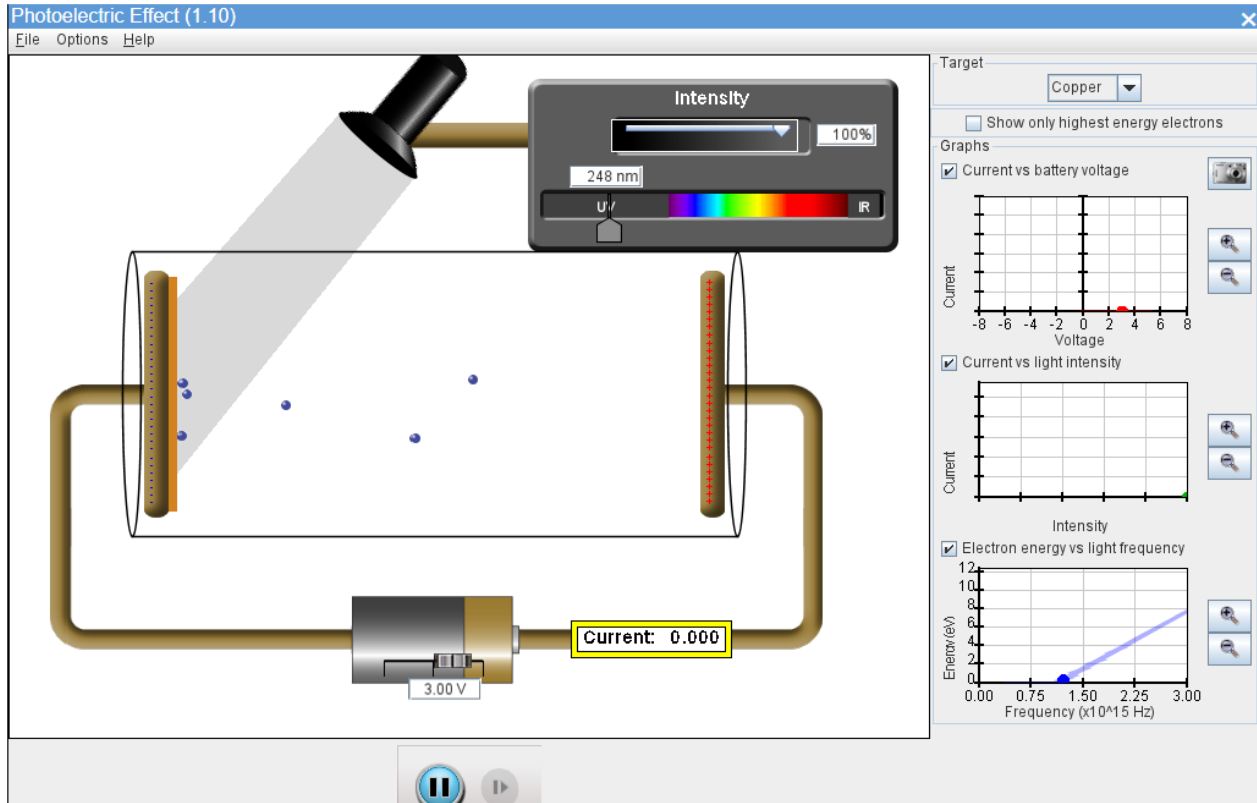
En este sistema el voltaje no hace un cambio muy significativo a menos que sea negativo, y el factor más significativo son los nanómetros bajos, en este simulador solo podemos bajar hasta 100 nanómetros, por eso este experimento se realiza desde 100 nm hasta 265 que es donde el Cooper se estabiliza y la corriente en cero, el voltaje en 0 tenemos, no suelta electrones, no hay efecto fotoeléctrico.



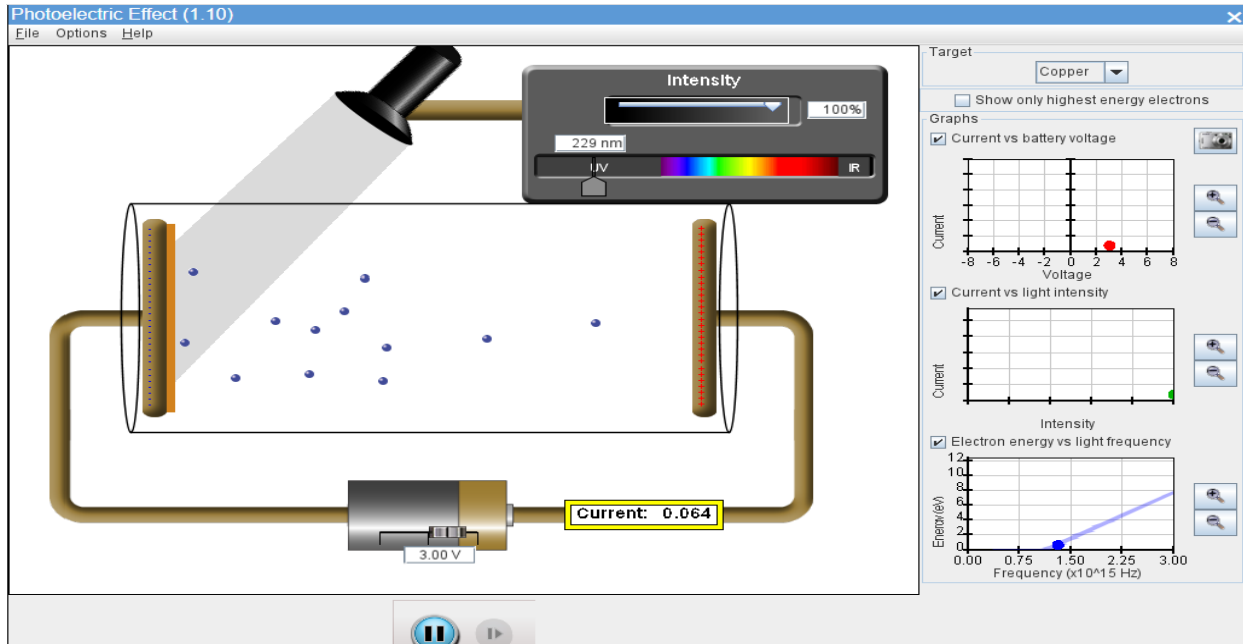
En la siguiente gráfica podemos demostrar que al disminuir los nm tenemos la aparición de ciertos electrones de energía a una velocidad muy moderada. Los nanómetros disminuyeron a 248 nm.



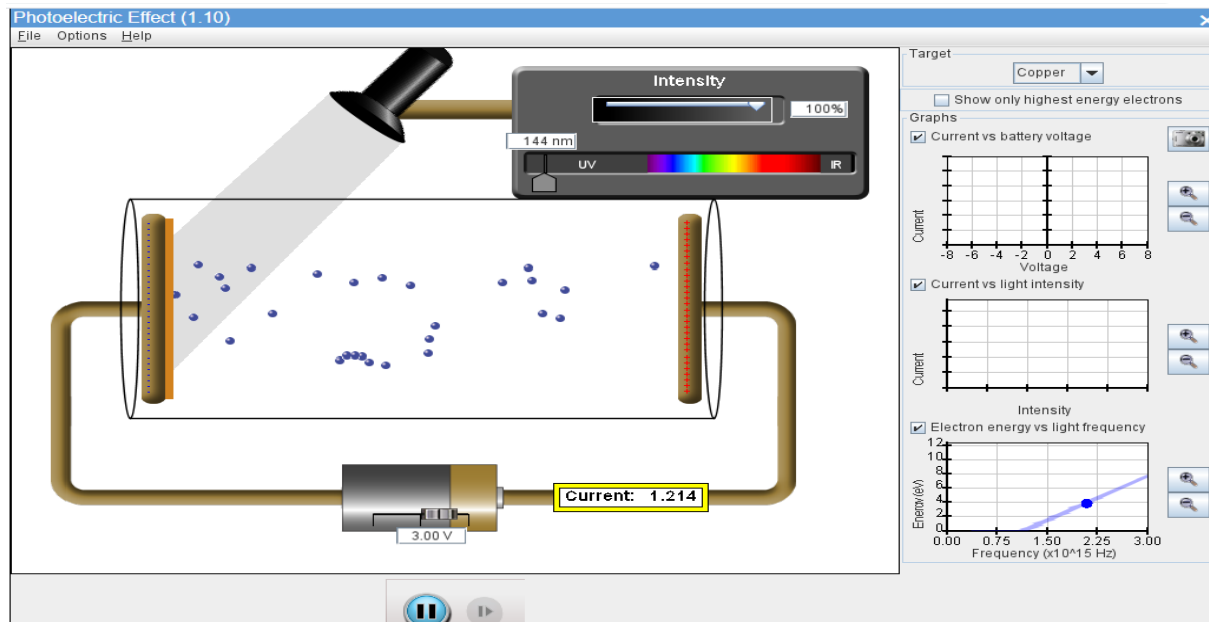
En la siguiente vamos a poder observar que al subir el voltaje de este sistema los electrones aumentan su velocidad, pero no su cantidad, aunque no hay un cambio en la corriente podemos suponer que necesitamos menos nanómetros para que se genere corriente.



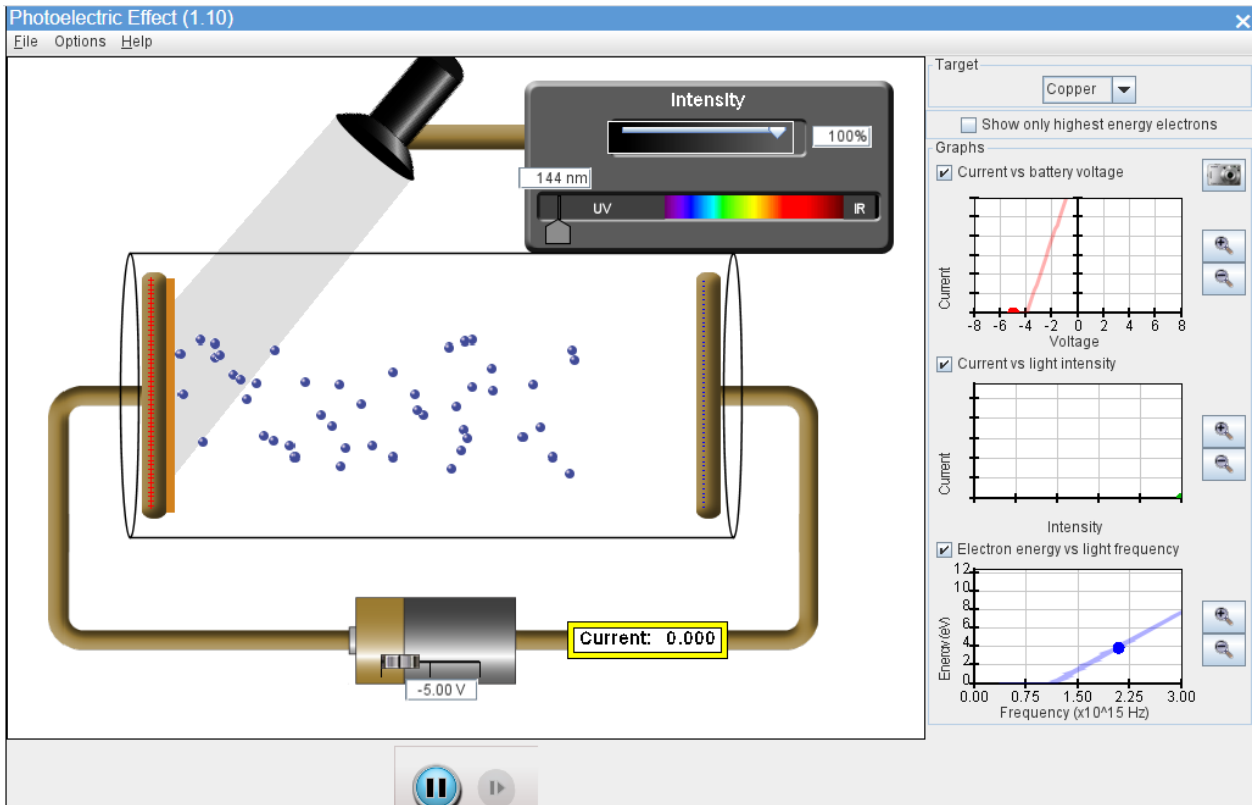
En la siguiente variación al momento de bajar los nm a 229 nm se logra observar que si hay un incremento de corriente (0.064 confirmando la suposición que se hizo anteriormente. también podemos observar que la velocidad de electrones se mantiene, pero la cantidad aumenta levemente.



En este momento del sistema donde los nanómetros están una cantidad relativamente baja (144 nm) se logra observar un incremento de cantidad de electrones como incremento de la velocidad que desplazan, también es posible observar que la corriente aumentó a (1.214).



Como última demostración podemos observar que al voltaje estar negativo las partículas se sueltan, pero vuelven a donde empezaron, por así decirlo, se retornan porque la fuerza positiva está atrás.

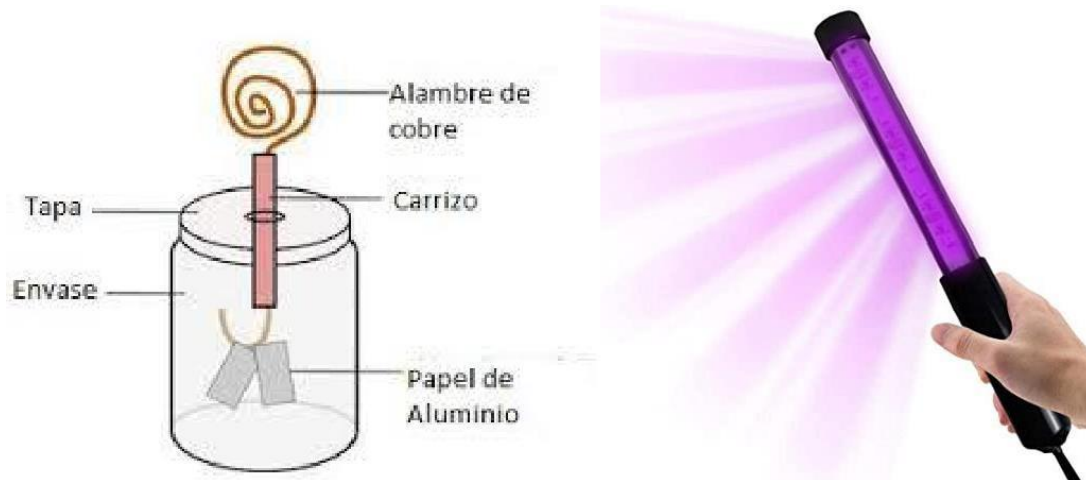


Después de todos estos experimentos podemos concluir que el efecto fotoeléctrico en el cooper lo podemos empezar a observar desde 265 nm hacia abajo que es donde empezamos a observar cambios en los electrones, mientras más bajo estemos más rapidez hay en el movimiento, más electrones hay y más corriente se genera. También pudimos observar que al modificar el voltaje la corriente no varía y los electrones empiezan a moverse con más rapidez si se aumenta y si el voltaje se convierte negativo los electrones cambian de recorrido en cierto punto y se devuelven de donde salen.

7. PRÁCTICA EXPERIMENTAL

7.1.A. Experimento con electroscopio y luz ultravioleta

Dejando de lado las prácticas virtuales, se empiezan con las presenciales, usando elementos precisos, como un electroscopio hecho con elementos que se pueden encontrar en casa o son fáciles de conseguir y dando uso de luz ultravioleta.



Primero, se hizo uso del electroscopio y se le dio su funcionamiento con los principios de la estática. El electroscopio tiene una carga neutra (mismas cargas positivas, como negativas), a continuación, al frotar una regla o un globo en el pelo o en alguna tela, esta se carga de manera negativa, por lo que, al acercar la regla al alambre de cobre exterior, esta atrae toda la carga positiva del electroscopio, dejando únicamente la negativa en el sistema, por lo que, como dice la ley de Faraday “*Polos opuestos se repelen*”, las láminas de aluminio que se encuentran dentro del frasco, se separan.

Pero hasta el punto no se ha evidenciado el efecto fotoeléctrico, ahora es donde entra en acción la luz



ultravioleta. Al acercar la lámpara de luz ultravioleta al alambre de cobre, particularmente, la luz cargará al máximo el sistema de carga positiva, por lo que las láminas que estaban separadas en un principio, se juntarán de manera inmediata.

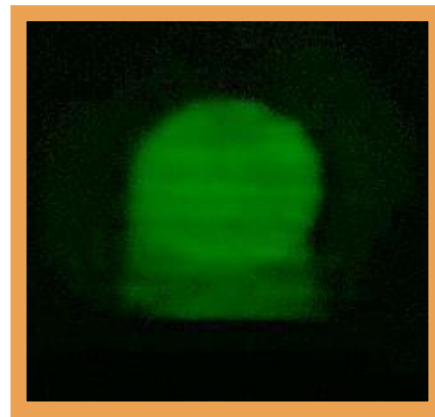


7.2.B. Experimento con materiales reactivos y luz de 365 nm

Para este experimento se empleó una vez más una lámpara de rayos ultravioleta de 365 nanómetros, con un lente capaz de enfocar su potencia, similar al de un láser, y por el otro lado, como material reactivo, se utilizó tinta fluorescente de absorción energética y finalmente una luz blanca a través de una linterna convencional de unos 400 nm. También se utilizó una luz rojiza entre 650 y 700 nanómetros. El experimento en síntesis consistió en esparcir la tinta reactiva sobre una hoja de papel, el cual una vez impregnada por sus propiedades, se le aplicó la luz

blanca de 400 nm aproximadamente. Se debe tener a consideración, que para que el experimento funcionara de manera óptima, el cuarto en el cual fue empleada la experimentación, fue totalmente oscuro, sin entrada de rayos lumínicos no planeados en la experimentación.

Posteriormente, se realizó el mismo procedimiento, con luz visible color rojo, de 700 nm aproximadamente, y finalmente se realizó con la luz ultravioleta de 365 nm exactamente. Bajo ninguna circunstancia se evidenció un cambio en el comportamiento general de la luz, siendo la excepción, la luz ultravioleta, la cual, luego de ser irradiada bajo el material, y posteriormente desactivada, se mantuvo por unos segundos un tenue brillo bajo esta, por lo que el material, absorbió efectivamente la energía tal y como se ve en la gráfica.



A

B



**Materiales
Empleados en la
experimentación. (B.)**

8. RESULTADOS Y ANÁLISIS

8.1. Practica Virtual PhET

8.1.1. Sodio

Se resalta de manera significativa las constantes nanométricas que se pueden destacar, de tal manera que todos los valores superiores a 489 nanómetros no van a incidir en lo absoluto en la generación del efecto, representándose así:

$$(X < 489 = \text{Corriente})$$

De igual manera, surge una congruencia matemática, de modo que la corriente es inversamente proporcional a la cantidad de nanómetros; a menor cantidad de nanómetros, mayor cantidad de corriente.

Por el otro lado, se observó que, en cierto punto del rango estipulado de valores óptimos nanométricos, se encontró una anomalía, la cual generaba una disminución energética en la constante, pero estos eran específicos de cada material, por lo tanto se deben tener presentes los factores que pueden afectar el resultado final como los componentes empleados, la intensidad de la luz, y por sobre todas las cosas, la longitud de onda con la que se trabaja, siendo para el sodio, representado así:

$$X < 489 \text{ nm} ; X > 196 \text{ nm}.$$

Donde X, representa un valor de la corriente estable.

8.1.2. Zinc

Sin lugar a dudas, se descuella que las variantes nanométricas son las principales influyentes en el sistema trabajado, tanto en el desprendimiento de electrones (el efecto fotoeléctrico en si), como en la generación de una corriente sistemática. Expresando:

- $X < 289$ nm. = Emisión Fotoeléctrica; $X < 269$ nm. = Corriente (Intensidad 100% y voltaje de 5V).

Sorprendentemente, a pesar de ser elementos totalmente diferentes, el Sodio (Na) y el Zinc (Zn), tienen comportamientos bastantes similares, pues, se concuerda en una variable inversamente proporcional entre lo que serían los nanómetros, la emisión fotoeléctrica y la corriente, es decir, a menor cantidad de nanómetros presentes en el sistema, mayor en flujo de electrones y de corriente, respectivamente.

Convenientemente, igual que en el caso del sodio, cada vez que se disminuyen los nanómetros, la corriente y el flujo de electrones aumentan, sin embargo, hay un punto en el que esto se altera.

En un punto del sistema, al disminuir un nanómetro más, la corriente empieza a disminuir curiosamente, de lo que se concluye:

- Hay un campo óptimo para que la emisión de electrones, sea lo suficiente como para hacer presente una corriente: $149 \text{ nm} > X < 289$; X representando a la corriente en aumento.

8.1.3. Platino

En este se puso a prueba un sistema bajo diferentes ambientes donde podían haber más o menos nanómetros (nm) que era el sistema de medida para la luz lo que generaba cambios

visibles en los electrones lo que nos podría dar como resultado una constante que nos servirá para ver los posibles causales de esta.

En este caso se aplicó con el platino donde se ve que el desprendimiento de electrones, como constante se encuentra que este trabaja bajo luz ultravioleta lo que genera que el desprendimiento sea más acelerado o más bajo dependiendo de la cantidad de nanómetros usados, esta constante lo que nos deja ver es que hay metales como lo es el titanio que en su efecto fotoeléctrico su desprendimiento de electrones no es muy variado al estar en un rango de nanómetros de ultra violeta.

Este sistema estaba trabajando en una simulación donde la intensidad siempre estaba al 100% lo que nos deja saber que este sistema se rige por un método donde las principales causales de todo sean los metales usados, la intensidad de los nanómetros y por la dirección de voltaje algo de lo que no se había hablado pero es de suma importancia a la hora de ver cómo es que se comportan los electros dado que estos se direccionan a partir de si la corriente es negativa o positiva dando como resultado que el desprendimiento de electrones no debe de ser tan lineal como se ve.

8.1.4. Copper

Como resultado final de este material en el experimento realizado de manera virtual fue que con la menor cantidad de nanómetros que puedas proyectar ese alterará las partículas del metal en cuestión como lo es este caso el copper donde presenta una leve alteración de partículas a partir de los 265 nm hacia abajo donde se convierte en una luz ultravioleta, mientras más bajamos la intensidad de los nanómetros podemos evidenciar que las partículas empiezan a moverse mucho más rápido que antes. También se evidenció que, si los cuerpos tienen una carga

negativa al ser irradiados bajo la luz ultravioleta, las partículas empiezan a moverse de forma inversa porque se desprenden, pero dependen de la cantidad de nanómetros aplicados es la distancia que se desprenden y vuelven a su origen. Se devuelven de donde salieron las partículas. En el caso del cooper el voltaje siempre estuvo en 0 y la intensidad al 100%, esto nos dice que el principal causante de nuestra investigación es la cantidad de nanómetros aplicada a la superficie utilizada.

8.2. Práctica experimental

8.2.1. A. Electroscopio

En este experimento se tiene como principio el uso de un electroscopio con ayuda de una luz ultravioleta lo que pasa es que al pasar un objeto cargado sobre el electroscopio este produce un efecto donde dos tiras de aluminio se separan, pero al pasar la luz ultravioleta sobre este los trozos de aluminio se vuelven a unir, aquí se puede evidenciar el efecto fotoeléctrico.

Lo que sucede es que al estar el objeto cargado de energía cinética y pasarlo sobre el electroscopio los trozos de aluminio adquieren la carga lo que hace que sus electrones se separen y creen este efecto, pero al pasar la luz ultravioleta la cual incide sobre la superficie del metal fotosensible y libera electrones, que son atraídos hacia la placa positiva, originando una corriente eléctrica débil. Si invertimos la polaridad podemos detener el paso de electrones variando el potencial.

8.2.2.B. Materiales Reactivos

Bajo las condiciones iniciales, con las luces de color blanco y rojo (400 nm y 700 nm respectivamente) no se evidenció un comportamiento anómalo al usual; al ser proyectados bajo la lámina reactiva, únicamente reflejaban el color de la misma, y al ser desactivados, la lámina se oscurecía inmediatamente, tal como se suele comportar la luz en el entorno natural.

Ahora bien, al emplear la lámpara de 365 nm, con alta concentración energética gracias a un lente especializado, este, al ser irradiado bajo la lámina, desde el primer momento se observó un cambio en su comportamiento, y a medida que movíamos la linterna de un lugar a otro sobre la lámina, ésta dejaba una estela lumínica sobre la misma. De igual manera, al concentrar el rayo en un único punto, y posteriormente desactivarla, era posible evidenciar por una buena cantidad de segundos, como la absorción energética por parte del material era muy activa, y aunque con el tiempo, la presencia de luz bajo el material iba disminuyendo, se seguía evidenciando pequeñas partículas aún brillantes en la lámina. Todos estos indicios y resultados, nos permiten comprobar las anteriores hipótesis realizadas bajo la experimentación virtual, y reafirmando la constante intrínseca en la longitud de su onda, en donde, a menor cantidad de nanómetros, mayor cantidad de electrones se desprenden del mismo.

9. CONCLUSIONES

La importancia del efecto fotoeléctrico se ve constantemente distorsionada por la exigua explicación que se le da, o por la pusilánime perspectiva que se tiene del mismo. El efecto fotoeléctrico es la base de muchos de los mecanismos de producción energética usada alrededor del orbe; gracias a este efecto, se descubrieron diversas maneras de aprovechamiento de la eficaz energía solar. Sin embargo, también es de gran importancia en producción energética termonuclear y en aspectos de la vida cotidiana, como, el uso de sensores digitales.

En general se obtuvo una visión muy amplia de cómo funciona, y de qué manera se comporta bajo circunstancias específicas, resolviendo de manera eficaz, las incógnitas planteadas bajo su propio funcionamiento, al poder ver su reacción en los experimentos, detectando variables y constantes que generaron modelos matemáticos para aprovechar sus propiedades. Hoy en día se ve la luz como acto de la naturaleza la cual tiene contados usos, pero con estos aportes, constantes y reacciones, se logra verificar el amplio repertorio de funciones y permite ver como ésta tiene propiedades ondulatorias, otorgando empleos en los sensores utilizados en las cámaras digitales y también se utiliza para fotodiodos, como los que se encuentran en las células fotovoltaicas y electroscopios.

Ahora bien, sus constantes funciones, no únicamente deben ser replicadas artificialmente, sino que estas mismas, actúan en el entorno natural; por ejemplo, debido al impacto de los fotones, las partículas de polvo en la superficie de la luna estarán cargadas positivamente. Las partículas cargadas se repelen entre sí, se elevan desde la superficie y forman una atmósfera delgada. Los satélites espaciales también adquieren cargas positivas en sus superficies iluminadas y cargas negativas en áreas más oscuras, por lo que estos efectos de acumulación de carga deben ser considerados al diseñarlos.

De igual manera, se logró clarificar el concepto propio de la luz, el cual es una forma de energía que tiende a comportarse como onda y su energía es proporcional a la frecuencia de la radiación electromagnética. La física clásica explica el cómo la energía está constantemente siendo absorbida, y después de largas investigaciones en 1887 Heinrich Hertz descubrió el efecto fotoeléctrico. En los experimentos que se desarrollaron durante las prácticas, se evidenciaron las diferentes formas en que la luz fue absorbida, tanto en metales como en tintas reactivas y le clarificó a través de la observación, de qué manera fueron desprendidas las partículas en varios materiales donde las partículas empezaron a reaccionar con la menor cantidad nanométrica.

Bajo la misma línea, el efecto fotoeléctrico, también, permite la comprensión sobre la dualidad de la luz como ondas electromagnéticas y como fenómeno de partículas, según su instrumento de medición (*Rendijas de Young*) y sus importantes aplicaciones en la actualidad, pues, esta dualidad se usa en ciertos microscopios, donde las pequeñas longitudes de onda asociadas con los electrones se pueden utilizar para observar objetos que son mucho más pequeños que los observados con luz visible. Finalmente, es increíble cómo proyectos de investigación de colegios, permiten llevar a la comprensión a jóvenes sobre uno de los avances más importantes de la física alrededor de la historia, pues, gracias a los estudios de los grandes físicos como Max Planck, James Maxwell y Albert Einstein, se prosiguió con la gran revolución de la física clásica de Newton, a la física moderna y cuántica. Esto fue el efecto fotoeléctrico.

REFERENCIAS

- Baptista, P. (2017). ¿Por qué la luz es afectada por la gravedad si los fotones no tienen masa? <https://es.quora.com/Por-qu%C3%A9-la-luz-es-afectada-por-la-gravedad-si-los-fotones-no-tienen-masa>
- Beléndez, A. (2015). Faraday y la teoría electromagnética de la luz <https://www.bbvaopenmind.com/ciencia/grandes-personajes/faraday-y-la-teoria-electromagnetica-de-la-luz/>
- Cervantes-Cota, M. A.-M. (2006). El Efecto Fotoeléctrico. *Ciencia Ergo Sum*, 303-311.
- Curiosoando.com (2018). ¿Qué son las fuerzas nucleares fuertes y débiles? <https://curiosoando.com/fuerzas-nucleares-fuerte-y-debil>
- DE LA PEÑA, L. (2006). *Introducción a la Mecánica Cuántica*. Mexico: Ediciones Científicas Universitarias.
- GRATTON, J. (2003). *Introducción a la Mecánica Cuántica*. Buenos Aires Argentina. Iradier M. (2018). Luz, gravedad y color. <https://www.hurqualya.net/luz-gravedad-y-color/>
- Khan Academy. 2020. Efecto Fotoeléctrico (Artículo) | Fotones | Khan Academy. [online] <https://es.khanacademy.org/science/physics/quantum-physics/photons/a/photoelectric-effect>
- Pilonitis, G. M. (2018). Limitaciones de la física clásica y nacimiento de la física cuántica. *Revista de Innovación en Enseñanza de las Ciencias*, 99-112.
- Revista Brasileira de Ensino de Física. (2018). Material suplementario para: Enfoque histórico en la enseñanza

del... *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 1-6.

Román, N (1997). Sobre las interacciones fundamentales, las partículas elementales y las teorías de campos.
<http://www.raco.cat/index.php/Buran/article/download/176846/240221>

Ruiz, F (SF). Naturaleza de la luz.
<http://acacia.pntic.mec.es/~jrui27/interf/young.htm#targetText=2%20Teor%C3%ADa%20ondulatoria&targetText=Huygens.,emitidas%20por%20un%20foco%20luminoso.&targetText=El%20frente%20de%20onda%20es,geom%C3%A9trica%20llamada%20principio%20de%20Huygens.>

Sotelo, J (2012). El Concepto de gravedad desde las concepciones de Newton y Einstein: Una propuesta didáctica dirigida a estudiantes de Ciclo V. Universidad Nacional de Colombia.
<http://www.bdigital.unal.edu.co/8107/1/jennyfercarolinasotelofajardo.pdf>