



Artículo

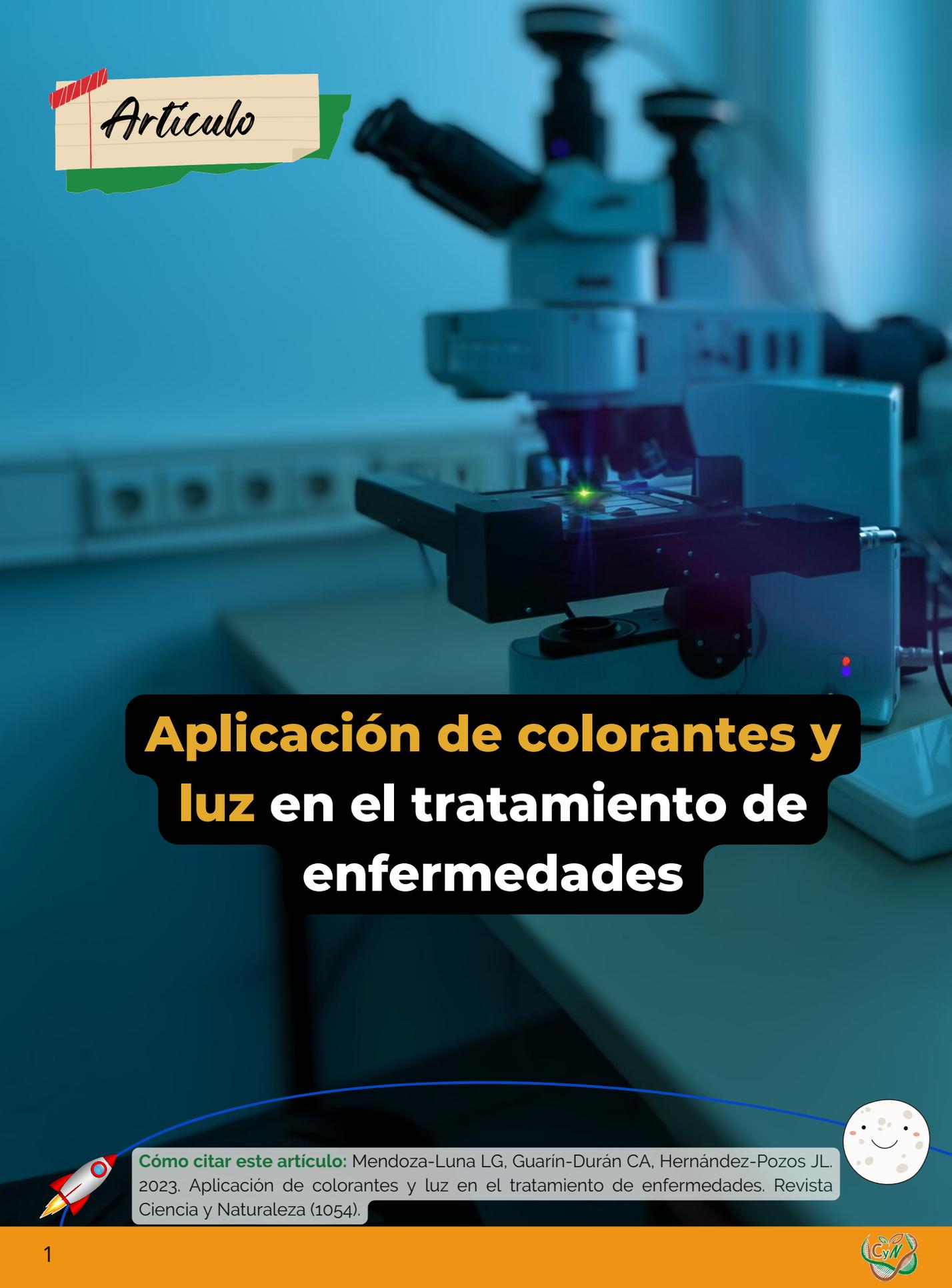
Revista



Ciencia  
y Naturaleza

# Aplicación de **colorantes** y **luz** en el tratamiento de enfermedades

Luis Guillermo Mendoza Luna  
César Augusto Guarín Durán  
José Luis Hernández Pozos



Artículo

# Aplicación de colorantes y luz en el tratamiento de enfermedades



**Cómo citar este artículo:** Mendoza-Luna LG, Guarín-Durán CA, Hernández-Pozos JL. 2023. Aplicación de colorantes y luz en el tratamiento de enfermedades. Revista Ciencia y Naturaleza (1054).

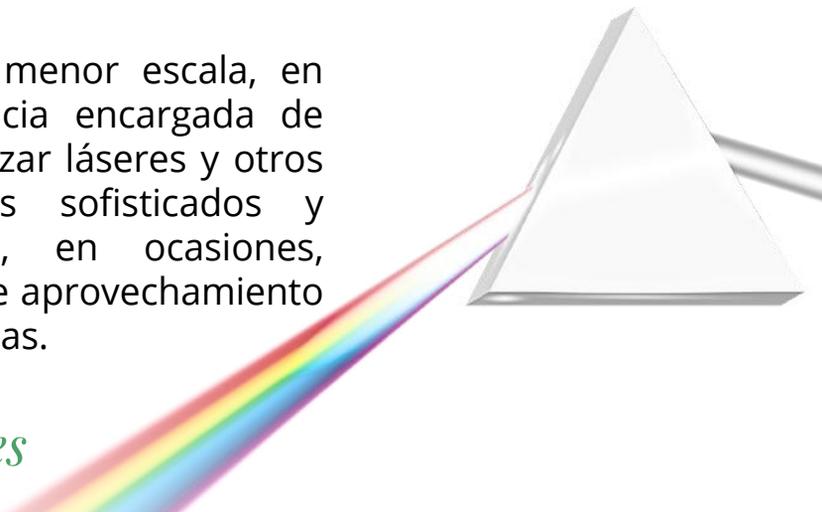




La investigación científica es dinámica y evoluciona rápidamente. En la actualidad, se lleva a cabo en laboratorios cada vez más especializados que requieren de equipos complejos. Ejemplo de lo anterior son los grandes experimentos que en tiempos recientes han capturado la atención del público, como el experimento que permitió descubrir la “partícula de Dios” (conocida en términos técnicos como el “bosón de Higgs”), que requirió el enorme acelerador de partículas llamado “Large Hadron Collider” (LHC por sus siglas en inglés) ubicado en la frontera entre Francia y Suiza.

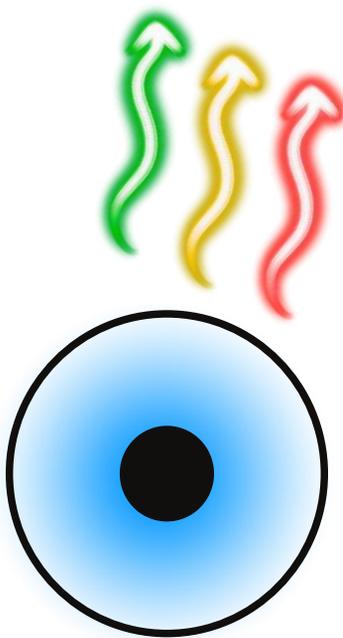


En experimentos a una menor escala, en particular en la óptica (ciencia encargada de estudiar la luz) es común utilizar láseres y otros dispositivos cada vez más sofisticados y costosos. También implica, en ocasiones, encontrar nuevos enfoques de aprovechamiento y uso de sustancias ya conocidas.



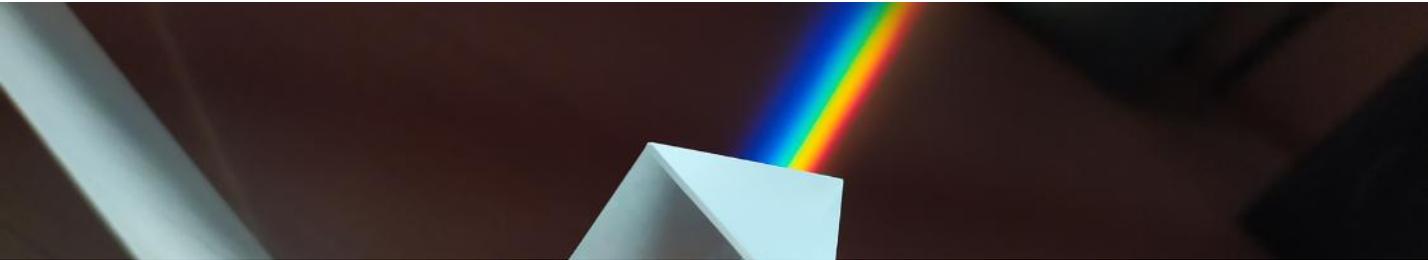
## *Absorción de dos fotones*

El fenómeno investigado en nuestro trabajo y que nos interesa explicar en este artículo se conoce como absorción de dos fotones (ver nota de conceptos). Previamente explicamos detalladamente este fenómeno físico y realizamos una reseña de su descubridora, María Göeppert Mayer [1]. Brevemente repasaremos el mecanismo de la absorción de dos fotones a continuación.

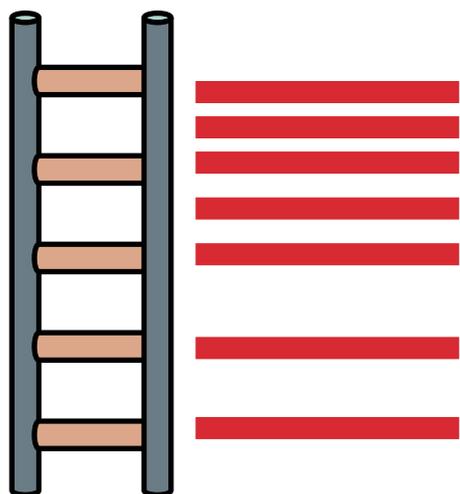


Un fotón puede entenderse como un “paquete” de luz (similar a una caja) que contiene cierta cantidad de energía. Los fotones pueden ser emitidos por las sustancias, pero su absorción dependerá de la energía del fotón y del material de la sustancia. Por ejemplo, un gas como el oxígeno puede absorber fotones de forma distinta al helio, que es utilizado para inflar los globos de fiesta.

El conjunto de energías que puede absorber una sustancia se denomina “espectro de energías”. Dentro de cada sustancia existen electrones (ver cuadro de conceptos), que cambian de nivel en el espectro de energías cada vez que la sustancia absorbe o emite fotones (pueden subir o bajar en el espectro).

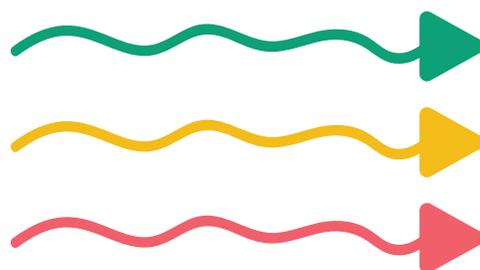


Para visualizar lo anterior, utilicemos una analogía: en una escalera, uno puede poner el pie únicamente en sus peldaños y, de la misma manera, en el espectro de una sustancia, un electrón solamente puede ocupar uno de los niveles de energía permitidos (Figura 1).



**Figura 1.** Analogía entre los peldaños de una escalera y los niveles de energía de un sistema. Así como el pie solamente se puede apoyar en un peldaño, los electrones en un átomo solamente pueden existir en los niveles de su respectivo espectro. Por otro lado, y a diferencia de una escalera convencional, los niveles de energía de un átomo no necesariamente se encuentran separados igualmente entre sí.

Ahora bien, examinemos cómo funciona la absorción de un solo fotón. Cuando un fotón de luz (por ejemplo, de luz ultravioleta, ver cuadro de conceptos) incide sobre una molécula, puede ser absorbido por uno de sus electrones, con lo cual éstos saltan a un nivel de energía superior y, de la misma manera, cuando un fotón es emitido por una molécula, sus electrones descienden a un nivel inferior.

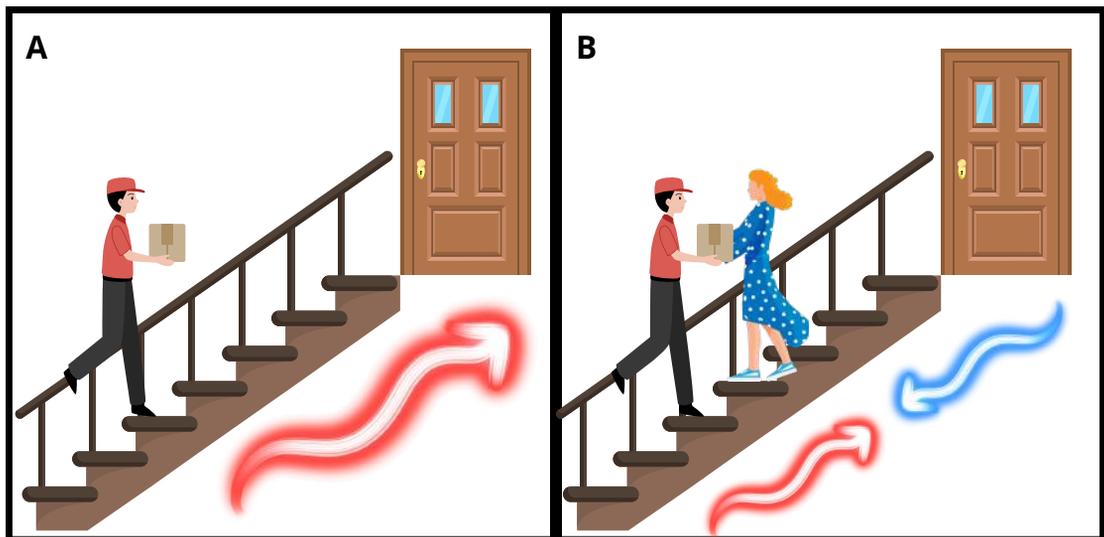


En el caso de la absorción de dos fotones, en lugar de un solo fotón, se utilizan dos fotones de menor energía. Estos dos fotones inciden sobre la molécula al mismo tiempo, y juntos proporcionan la energía necesaria para que un electrón salte a un nivel de energía superior.

Esto es posible porque la molécula absorbe la suma de las energías de ambos fotones, en lugar de la energía de un solo fotón; la molécula no podría absorber un solo fotón ya que ello sería incompatible con su espectro de energías.

Para ilustrar lo anterior, imagine un repartidor que debe entregar una caja pesada a otra persona que vive en un primer piso. Para cumplir con su objetivo, el repartidor necesita hacer un gran esfuerzo para subir la caja por las escaleras hasta entregar el paquete.

Si otra persona encuentra al repartidor a la mitad del camino para recibir la caja y la lleva hasta entregarla, el repartidor haría menos esfuerzo. Así en esta analogía, la absorción de dos fotones es realizada por dos personas, donde la energía empleada es menor (Figura 2).



**Figura 2.** Analogía del proceso de absorción de dos fotones con la entrega de una caja pesada. En el recuadro A, una sola persona debe subir la caja por sí sola hasta el final de las escaleras (esto es similar a la absorción de un solo fotón). En el recuadro B, dos personas se encuentran a la mitad del camino para ayudar a entregar el paquete (de forma similar a la absorción de dos fotones).

## Aplicaciones en la Medicina

La científica María Goeppert Mayer fue quien descubrió el fenómeno de absorción de dos fotones que acabamos de explicar. Esto ocurrió a principios de la década de 1930. Su predicción tardó tres décadas en comprobarse, y ocurrió gracias a la creación del láser a principios de la década de 1960. Sin embargo, los científicos pronto se dieron cuenta de que estos hallazgos podían ser aprovechados mediante inventos ingeniosos.

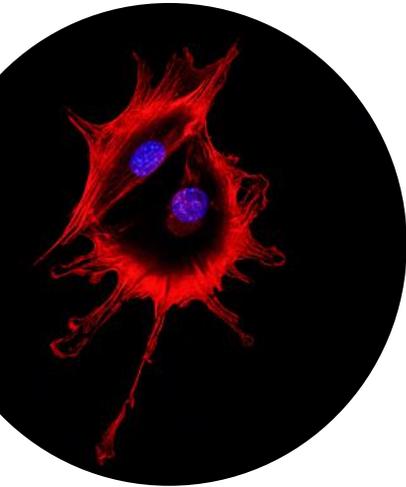


Una de las aplicaciones más importantes de los descubrimientos científicos está en los campos de la biología y la medicina. Es fácil ver que cualquier avance en la medicina tiene un impacto directo en la salud y la atención de los pacientes, así como en el tratamiento de enfermedades.

El fenómeno de la absorción de dos fotones y los colorantes son muy relevantes en los campos de la imagenología, la medicina, los biosensores y la óptica no lineal, entre otros, ya que tienen importantes aplicaciones en la investigación y el tratamiento de enfermedades.



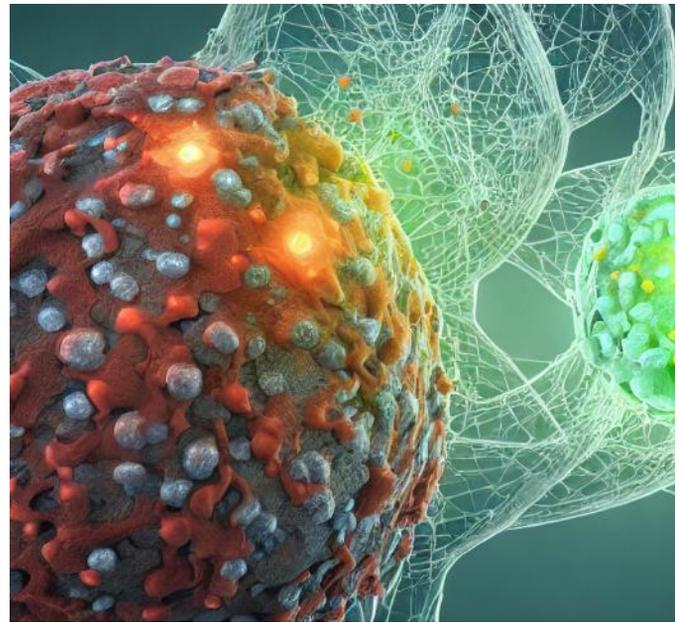
En particular, la técnica de absorción de dos fotones permite obtener imágenes de tejidos biológicos con alta resolución. Esta técnica es conocida como microscopía de fluorescencia, en la que se utiliza **luz infrarroja** (ver cuadro de conceptos), que es de baja energía, para excitar las moléculas (por ejemplo, un colorante orgánico) en una muestra biológica, la cual a su vez emite luz como respuesta.



Al usar dos fotones de baja energía (infrarrojos), en lugar de uno de alta energía (ultravioleta), se minimiza el daño a las células y se pueden obtener imágenes detalladas de áreas específicas de tejidos vivos, que son muy difíciles o imposibles de obtener usando otras técnicas.

Otro uso especialmente relevante de la absorción de dos fotones es en la terapia fotodinámica, que es una técnica de tratamiento médico que utiliza luz para eliminar células cancerosas, así como tratar enfermedades de la piel, ciertos tipos de infecciones y problemas de visión, entre otras patologías [4].

Su funcionamiento consiste en que una sustancia llamada fotosensibilizador se introduce en el cuerpo humano (por vía oral o a través de una inyección) y se concentra en las zonas afectadas por la enfermedad. Luego, dichas zonas se exponen a una luz de baja energía (usualmente infrarroja) que activa el fotosensibilizador, produciendo una reacción que destruye las células enfermas sin lesionar a los tejidos sanos circundantes.

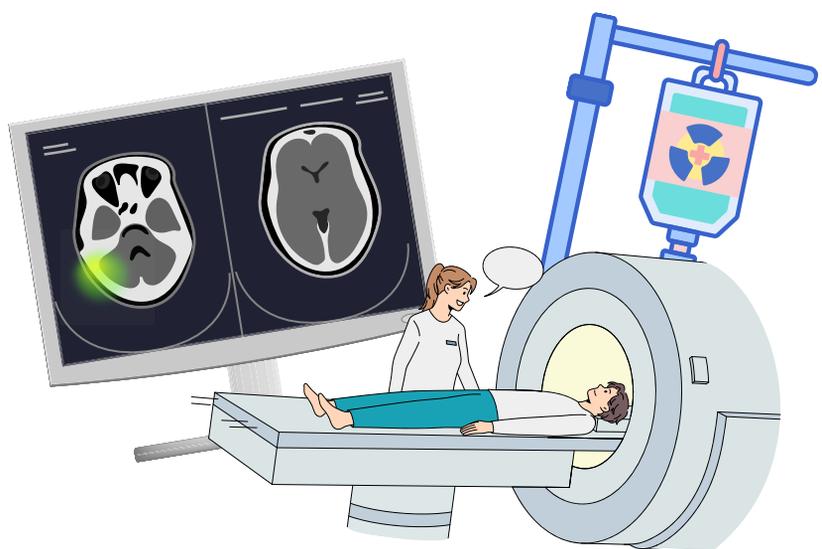


La sustancia conocida como IR780 es un químico del tipo colorante y miembro de una familia más amplia conocida como cianinas, las cuales son importantes en las aplicaciones diversas como la medicina, la microscopía y la investigación científica pura y aplicada.



Además de sus usos como colorante y fotosensibilizador, la molécula IR780 tiene otros posibles usos en diferentes áreas. Por ejemplo, puede ser utilizada como un agente de contraste para imágenes médicas, en resonancia magnética y en tomografías. También puede funcionar como un detector muy sensible de agentes biológicos dentro de las células usando el fenómeno de fluorescencia.

Finalmente, tiene usos en terapias que combinan terapia fotodinámica y quimioterapia [5], lo que permite mejorar la efectividad del tratamiento y reducir los efectos secundarios; de hecho, la combinación de ambos tratamientos se considera una estrategia muy prometedora.



## *Investigaciones recientes*

Un estudio publicado recientemente en nuestro grupo de investigación [2] incluyó la medición de la capacidad del colorante IR780 de absorber dos fotones a la vez. Para ello, se utilizó el equipo láser infrarrojo con que contamos en la Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa [3], junto con una técnica estándar para realizar esta medición. Dicha técnica consiste en iluminar una muestra de colorante IR780 disuelto en un alcohol, lo cual tiene el efecto de hacer que el colorante emita luz.



El dispositivo construido en nuestro laboratorio mide la cantidad de luz emitida por la molécula y la compara contra la luz emitida por otra sustancia de referencia (utilizamos un colorante estándar llamado rodamina B) que ha sido sometida al mismo experimento. Los resultados de esas mediciones deben introducirse en unas fórmulas matemáticas y después someterse a análisis estadísticos. Se ha demostrado que este procedimiento permite medir cuán capaces son las sustancias de absorber simultáneamente dos fotones.

Los resultados del estudio [2, Figura 3] mostraron que la molécula IR780 tiene una alta capacidad de absorber dos fotones cuando la muestra se ilumina con una luz infrarroja específica, lo que convierte al IR780 en una sustancia útil para la investigación en el campo de la óptica. Además, esta investigación ayudará a entender mejor cómo funciona la absorción en esta molécula y a diseñar en el futuro materiales que absorban dos fotones simultáneamente de forma más eficaz.



Por primera vez se midió la capacidad del IR780 de absorber dos fotones simultáneamente y se explicó cómo es que las características de esta molécula (niveles de energía y distribución de sus electrones) dan lugar a dicha capacidad alta de absorber dos fotones simultáneamente. La sustancia IR780 es un grupo importante que exhibe mayor capacidad de absorber dos fotones simultáneamente cuando se ilumina con la luz infrarroja apropiada [6]. El colorante IR780 es una molécula que tiene propiedades sobresalientes para la absorción de dos fotones.

**Figura 3.** Fotografía de un colorante usado en nuestra investigación que recibe la luz del láser. Se aprecia un punto luminoso de fluorescencia que contiene la información utilizada para determinar qué tan eficiente es el proceso estudiado.



Nuestro trabajo [2] ha proporcionado información valiosa sobre los mecanismos que controlan estos procesos ópticos en esta molécula, lo que puede ayudar a desarrollar nuevas tecnologías fundamentadas en fotones infrarrojos. A partir de nuestros hallazgos es posible optimizar su uso en las aplicaciones antes mencionadas. Además, también es útil como base para encontrar o crear otras sustancias que exhiban este fenómeno. 🍀

## Conceptos

**Un fotón** puede entenderse como una partícula de luz, es decir, como una “pelota” que contiene la energía y las propiedades que normalmente asociamos a la luz, como el color.

**La luz ultravioleta** contiene más energía que la luz visible al ojo humano, lo cual puede ocasionar daños a los tejidos en caso de una exposición prolongada, como cuando la piel se expone demasiado tiempo a la luz (en parte ultravioleta) del sol.

**Un electrón** es una partícula que forma parte de los átomos y que posee carga negativa. Los electrones se mueven alrededor de los núcleos de los átomos de forma parecida a la Tierra alrededor del sol.

**La luz infrarroja** es invisible para el ojo humano y la energía de sus fotones es ligeramente menor a la luz roja.

## Agradecimientos

Los autores agradecen a la Universidad Autónoma Metropolitana (UAM) y al CONAHCYT por el apoyo INFR-2015-255579 “Infraestructura para Laboratorio de Interacción Radiación Materia y Espectroscopía de Procesos Ultrarrápidos (<40 fs)” que se utilizó para la compra del sistema láser de femtosegundos. LGML y CAGD agradecen el apoyo proporcionado por CONAHCYT en el marco del programa Investigadores por México (número 683). Asimismo, agradecemos el tiempo de cómputo en el clúster de cómputo Yoltla del LSVP de la UAM-I otorgado por LANCAD y CONAHCYT (apoyo 25-2023).



## Para Consulta

1. Baza-Medina R, Mendoza-Luna LG, Guarin CA, *et al.* 2023. La extraordinaria vida de María Goeppert-Mayer y su primer descubrimiento científico: la absorción de dos fotones. *Contactos. Revista de educación en ciencias e ingeniería* 129: 29-38
2. Guarin CA, Mendoza-Luna LG, Haro-Poniatowski E, *et al.* 2021. Two-photon absorption spectrum and characterization of the upper electronic states of the dye IR780. *Spectrochimica Acta, Part A* 249: 119291. <https://doi.org/10.1016/j.saa.2020.119291>
3. Mendoza-Luna LG, Guarin CA, Haro-Poniatowski E, *et al.* 2019. El nuevo sistema láser de pulsos ultracortos de la UAM-Iztapalapa. *Boletín de la Sociedad Mexicana de Física* 33: 31
4. Sitio web <https://www.encl.ipn.mx/proyectovph/terapia-fotodinamica.html>.
5. Li W, Peng J, Yang Q, *et al.* 2018.  $\alpha$ -Lipoic acid stabilized DTX/IR780 micelles for photoacoustic/fluorescence imaging guided photothermal therapy/chemotherapy of breast cancer. *Biomaterials Science* 6: 1201-1216.
6. Guarin CA, Mendoza-Luna LG, Galicia-López JF, *et al.* 2023. Role of Polymethinic Chain Substitution on the Two-Photon Absorption Cross-section of Heptamethine Cyanine Dyes. *ChemistrySelect* 8: e202300524 <https://doi.org/10.1002/slct.202300524>

Crédito de imágenes en orden de aparición: PublicDomainPictures (Pixabay, Pi), Beano5 (Getty Images, GI), tilialicuda, Viorela Florescu's Images, Writerfantast, Elisabeth Sihite, Dobromir Hristov (P), sparklestroke, Andrew Gardner (GI), tatyana korenyugina, Baby Q, lestarikhanty, Abscent, VectorBum, Likanaris, jxfzsy (GI), Kichigin, Drimafilm (GI), Frozenbunn, ckstockphoto, amethyststudio, Kazakov Vladimir, Vectorium, Tanya LeClair, NanoStockk (GI), ninastitkevich, Aira Borja, Abrams, Lijanaris, tilialucida, kasto, Icongeek26, Alexander's Images.

*Diseño de publicación: Yareli Fiburcio*



**Luis G. Mendoza Luna**

Investigador por México (IxM) en la UAM unidad Iztapalapa. Especialista en espectroscopía y criogenia, realiza investigación en nanociencias y óptica no lineal y ultrarrápida.

contacto: [luisgml@xanum.uam.mx](mailto:luisgml@xanum.uam.mx)



**César A. Guarín Durán**

IxM en la UAM unidad Iztapalapa. Especialista en espectroscopía resuelta en tiempo y en química ultrarrápida. Realiza investigación en nanopartículas, colorantes y óptica no lineal.

contacto: [cesarguarin@xanum.uam.mx](mailto:cesarguarin@xanum.uam.mx)



**José L. Hernández Pozos**

Profesor-investigador en la UAM Unidad Iztapalapa. Especialista en óptica no lineal y procesos ultrarrápidos. realiza investigación en generación de armónicos de orden superior, enfriamiento por láser y atrapamiento de iones.

contacto: [jlhp@xanum.uam.mx](mailto:jlhp@xanum.uam.mx)