

La luz al servicio de la medicina

Light in the service of medicine

Ángel de Jesús Jiménez Chávez y Angélica Cantero Téllez

Resumen

La luz que todos conocemos (y amamos) —ya sea en forma de luz solar, que disfrutamos cada fría mañana sobre nuestro rostro; o la proveniente de una linterna, con la que podemos guiarnos por una oscura noche; la que podemos ver descompuesta en todos sus colores cuando aparece un arcoíris en el cielo— esa luz tiene un uso como arma contra el cáncer, ya que es un componente clave de la terapia fotodinámica. ¿Qué es esta terapia? y ¿cómo puede lograr esto? Continúa leyendo y averígualo.

Palabras clave: terapia fotodinámica, luz, fotosensibilizadores, oxígeno, cáncer.

Abstract

The light we all know (and love) —whether in the sunlight we enjoy on our faces each chilly morning, the beam from a flashlight that helps us find our way through a dark night, or split into all its colors when a rainbow appears in the sky— that light has a use as a weapon against cancer. It is a key component of photodynamic therapy. What is this therapy and how can it make it possible? Read on and find out.

Keywords: photodynamic therapy, light, photosensitizers, oxygen, cancer.

CÓMO CITAR ESTE TRABAJO

Jiménez Chávez, A. de J., y Cantero Téllez, A. (2025, noviembre-enero). La luz al servicio de la medicina. *Revista Digital Universitaria* (RDU), 26(4). <http://doi.org/10.22201/ceide.16076079e.2025.26.5.9>

Ángel de Jesús Jiménez Chávez

Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Medicina, Ciudad de México, México

Biólogo por la Facultad de Estudios Superiores Iztacala de la Universidad Nacional Autónoma de México (2015) y Doctor en Ciencias Biomédicas por la misma universidad (2020), grado con el que obtuvo el tercer lugar en el Premio a la Innovación Farmacéutica 2020. Desde su formación de licenciatura ha trabajado en inmunología del cáncer, y durante su doctorado se enfocó en el desarrollo y evaluación de vacunas multiepitópicas contra el cáncer de mama triple negativo, utilizando nanopartículas como sistema de entrega. Desde 2021 realiza un posdoctorado en la Facultad de Medicina de la UNAM, donde investiga nanopartículas aplicadas en vacunas y en terapia fotodinámica para tumores sólidos. Sus intereses de investigación incluyen nanopartículas proteicas como sistemas de entrega de vacunas y terapia fotodinámica.

 jica9204@gmail.com

 0000-0003-1652-3140

Angélica Cantero Téllez

Universidad Nacional Autónoma de México, Doctorado en Ciencias Biológicas, Ciudad de México, México

Bióloga por la UNAM, con Maestría en Ciencias en el área de Neurobiología. Actualmente realiza el Doctorado en Ciencias Biológicas en la misma institución. Ha publicado un artículo en una revista internacional y un artículo de divulgación científica. Su línea de investigación se centra en la caracterización del efecto del ácido clorogénico sobre las propiedades intrínsecas de las neuronas colinérgicas en un modelo de degeneración neuronal inducido por 3-nitropropiónico. Sus intereses incluyen neurodegeneración, neuroprotección y fisiología celular.

 canterotelleza@gmail.com

 0009-0007-1626-8465

El poder de la luz

● Cómo es posible que algo tan agradable como la luz pueda hacer daño?
Bueno, todos sabemos lo que puede hacer el sol: si te quedas dormido en la playa, despiertas con la piel bronceada y sufres del dolor por horas o días. Esto sucede ya que la luz es una forma de energía, la cual al tocar nuestra piel se convierte en calor y demasiado calor causa quemaduras en la piel; mientras más tiempo permanezcamos bajo el sol mayor serán las quemaduras. También podemos prenderle fuego a la madera o derretir objetos en instantes si utilizamos una lupa para concentrar la luz en un pequeño punto.

Así como la luz solar por sí misma puede lastimar, acelerar el envejecimiento de nuestra piel e incluso causar cáncer por exponernos de forma crónica y sin protección (Delgado-Villacis et al., 2022), existen sustancias que pueden causar que la luz nos lastime mucho incluso sin recibir tanto sol. Estos compuestos están presentes en diversas plantas, en muchos medicamentos y en nuestra propia sangre y tienen en común que son moléculas capaces de absorber la energía de la luz (Beani, 2022).

Moléculas que absorben la luz, ¿héroes o villanos?

Como seguro sabrás, las plantas medicinales se han usado por muchísimo tiempo y sus propiedades buenas o malas se han descubierto por prueba y error. Algunos de nuestros ancestros descubrieron de mala manera que, si se untaban en la piel algunas plantas y luego se exponían al sol, sufrían quemaduras muy dolorosas casi al instante. Esto lo conocemos hoy como *fitofotodermatitis*, palabra compuesta por *fito* referente a las plantas, *foto* relacionado a la luz y *dermatitis* que alude a una irritación en la piel (Blanco Rodicio et al., 2021). Durante mucho tiempo de la historia, los seres humanos evitamos el contacto con estas plantas, pues ¿a quién le gusta lastimarse la piel?

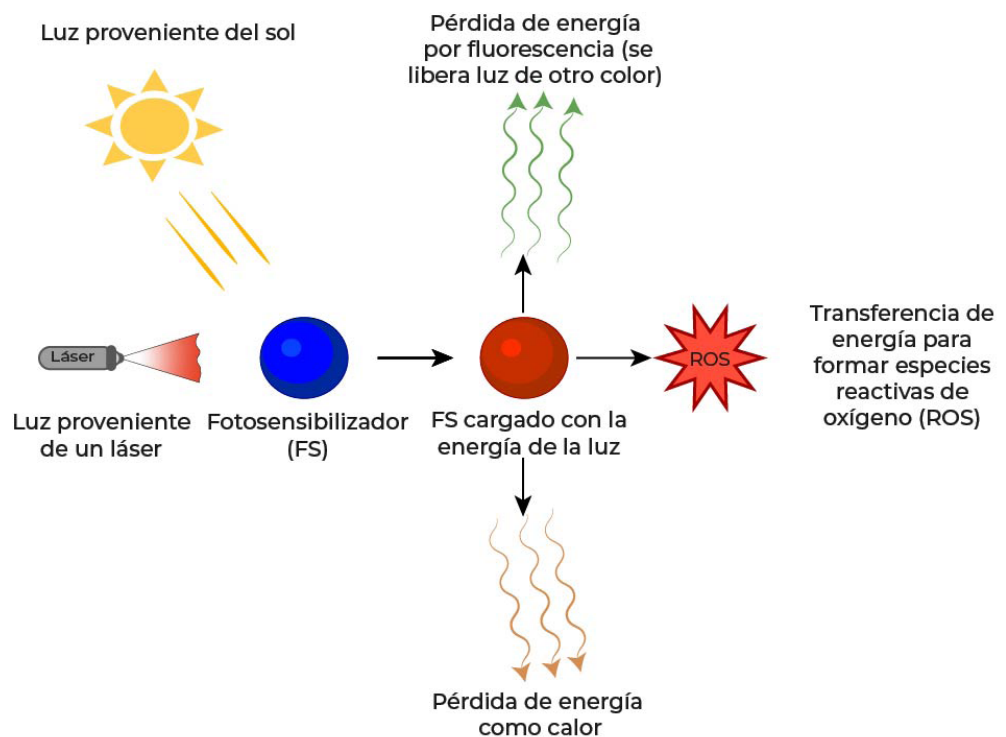
El avance de la ciencia permitió el descubrimiento de las partículas que causaban tan dolorosas lesiones y las llamaron *fotosensibilizadores*, lo cual describe muy bien su función: te hacen más sensible a la luz mientras que en la oscuridad son inofensivos (ingeniosos, ¿verdad?). Cada fotosensibilizador, mejor digámosle FS, se activa (aumentar su energía) con luz de un color particular (pero no con luz blanca porque está formada por muchos colores), lo que permite que los FS absorban más energía.

Pero si siempre nos han dicho que la energía no se crea ni se destruye, sólo se transforma, ¿a dónde va a parar la energía absorbida por los FS? ¿Y cómo es que estas partículas hacen que la luz nos lastime más? Bueno, estas partículas pueden hacer varias cosas con la energía que han absorbido (ver figura 1):

1. Unos simplemente la pierden también como luz, pero de un color diferente (con menos energía), lo que se conoce como *fluorescencia*. Algunos animales emiten fluorescencia naturalmente, un buen ejemplo son los escorpiones, los cuales al ser iluminados con luz ultravioleta brillan de color verde.
2. Los FS pueden perder la energía mediante la vibración de sus átomos, lo que causa que las cosas a su alrededor se calienten, llegando a temperaturas de más de 60°C en las cercanías.
3. Otros FS pueden transferir la energía a otras partículas cercanas como el oxígeno y formar *especies reactivas de oxígeno*, conocidas comúnmente como ROS (del inglés, Reactive Oxygen Species), las cuales en grandes cantidades dañan componentes vitales de las células lo que provoca que las que contienen los FS o las cercanas a ellos mueran tras ser iluminadas (Vicentini et al., 2017).

Figura 1. ¿Qué hacen los fotosensibilizadores con la luz que absorben? Un fotosensibilizador (esfera azul) es iluminado con luz blanca como la del sol o luz de cierto color con un láser. Esto causa que el FS absorba la energía y se excite (esfera roja). Una vez excitado puede perder la energía básicamente de tres formas, como fluorescencia, como calor o transfiriéndola a moléculas cercanas para formar especies reactivas.

Créditos: elaboración propia.



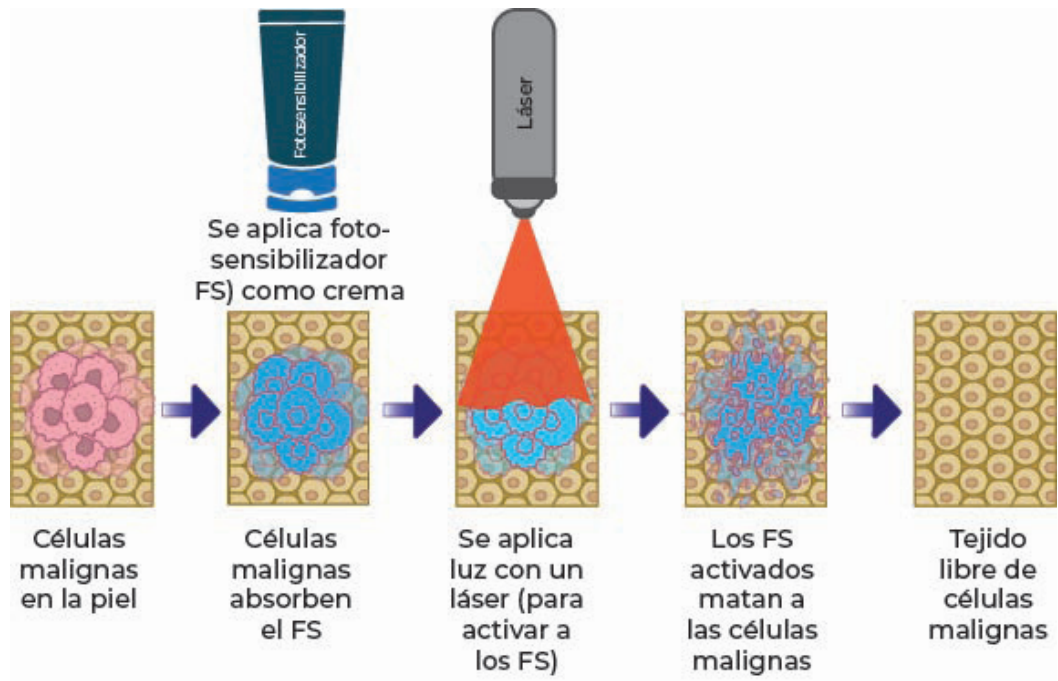
Medicina basada en luz (y también en fotosensibilizadores)

Como ya te abras imaginado, algunos científicos muy astutos pensaron que se podía sacar provecho de estas partículas fotosensibles. ¿Qué pasaría si inyectamos un tumor con FS y luego lo iluminamos con un láser? Eso se preguntaron algunos y lo que encontraron fue que podían eliminarlos, aunque no todos, solamente ciertos tipos de cáncer en la etapa donde no se han esparcido las células tumorales.

En particular este método funcionó muy bien en tumores superficiales de la piel, ya que podían aplicarse los FS directamente en ellos y cubrir el resto de la piel para que no le diera la luz y así no murieran las células sanas cercanas. De esta manera surgió la *terapia fotodinámica del cáncer* (ver figura 2).

Figura 2. Así funciona la terapia fotodinámica para eliminar células cancerosas en la piel: cuando se detecta una lesión con células malignas en la piel, se aplica un fotosensibilizador en forma de crema y se cubre la zona alrededor de la lesión, después se ilumina la zona de la lesión utilizando un láser del color apropiado. Esto causa que las células malignas mueran y sean eliminadas; después del tiempo de recuperación se obtiene una piel libre de células malignas.

Créditos: elaboración propia.



Podría decirse que los fotosensibilizadores son pequeñas bombas que entran apagadas a las células (como un caballo de Troya) y, una vez dentro, son encendidas a distancia con luz, lo que provoca que estas pequeñas bombas exploten y causen la muerte sólo en el sitio donde se aplica la luz. Este tipo de terapia se emplea con mucho éxito desde los años noventa para el tratamiento del cáncer de piel y también se ha explorado su uso para el cáncer de esófago y de pulmón, principalmente.

Además, la terapia fotodinámica se usa en muchos tratamientos estéticos para la piel, como terapia de "rejuvenecimiento" y para la eliminación de manchas

(Mordon et al., 2012). Como ya dijimos, la luz matará cualquier célula que tenga FS sin importar que sea sana o no. Por ello, estos tratamientos se aplican en forma de crema, lo que mata a unas pocas células sanas de la capa externa de la piel para que así las “nuevas” que están por debajo puedan tomar su lugar y tú puedas mostrar al mundo la belleza de un cutis terso y brillante por tus “células rejuvenecidas”, las cuales no tienen nada de ello, sólo no han estado expuestas al sol, la lluvia, el polvo, bacterias, virus, lágrimas y demás cosas.

Seguro te preguntas que, si esta terapia es tan efectiva, ¿por qué no curar todos los tumores con ella? Como hemos mencionado, para que funcione se requieren básicamente de dos cosas: 1) hacer llegar los FS a los tumores y 2) hacer llegar la luz a los FS. La terapia fotodinámica tuvo mucho éxito para lesiones en la piel o tumores superficiales porque el fotosensibilizador se puede poner como una crema directamente en la piel y sólo se aplica luz en la zona que se quiere tratar. Asimismo, la piel es la parte más fácil para iluminar, pues basta ver a cualquier niño jugar con una lámpara y colocar su mano encima para ver como la luz atraviesa sus dedos y los hace brillar.

La luz en nuestro interior

Y ¿qué podemos hacer para que la terapia fotodinámica funcione para tumores más profundos en el cuerpo y no sólo para los que están en la superficie de la piel? O incluso, ¿cómo hacerle para eliminar bacterias, parásitos y demás cosas indeseables que se mueven dentro de nuestro cuerpo? Bueno, los científicos han hecho muchos intentos para lograr esto: han experimentado con otros tipos de luz además de la visible (la que se compone por la mezcla de los hermosos colores del arcoíris), como la infrarroja o los rayos X, las cuales no podemos ver a simple vista, pero tienen una mayor penetración en nuestros cuerpos.

Los rayos X nos atraviesan por completo, únicamente nuestros huesos pueden detener un poco de ellos (por eso las radiografías nos permiten ver nuestro esqueleto). No obstante, todos sabemos que recibir mucha de esta radiación no es bueno, pues puede causar cáncer y otras enfermedades por una exposición prolongada (esto se debe a que son tan poderosos que llegan al ADN y lo dañan). Además, para el caso de las bacterias y parásitos, éstos pueden moverse de lugar por lo que se necesita irradiar todo el cuerpo para alcanzar a todos los patógenos, lo cual aumenta también los efectos secundarios.

La luz infrarroja es una alternativa a los rayos X. Esa no nos causa daño y tiene una mayor penetración en nosotros que la luz visible, aunque no tanta como los rayos X, pero también se necesita aplicar desde afuera del paciente con un poderoso láser para que una parte llegue al tumor.

Por lo anterior, la mejor alternativa consistiría en generar luz visible dentro del cuerpo y exactamente en el lugar donde se encuentre el tumor o los patógenos, pero ¿es esto posible?

Existen reacciones químicas que liberan energía en forma de luz, esto se conoce como *quimioluminiscencia*. Alguna vez habrás visto alguna película en donde el protagonista se encuentra en total oscuridad hasta que saca una pequeña barra, la dobla y comienza a brillar, iluminando su camino hasta la siguiente aventura. Bueno, estas barras contienen dos químicos en compartimientos separados, cuando la barra se dobla, el compartimiento interno se rompe y los químicos pueden mezclarse comenzando una reacción entre ellos que produce luz, la cual se apagará cuando todos los químicos hayan reaccionado.

Otra forma en que la naturaleza puede producir luz es gracias a la *bioluminiscencia*. En este proceso participan unas proteínas muy especiales llamadas *enzimas* que toman una sustancia química, la transforman en otra y, mientras lo hacen, liberan luz. Para entenderlo mejor, pensemos en algo muy común: una manzana. Cuando la muerdes, la pulpa es clara y se ve apetitosa, pero si la dejas un rato sobre la mesa, al volver notarás que la parte expuesta se volvió café. Mucha gente cree que simplemente “se oxidó con el aire”, pero lo que en realidad ocurrió fue el trabajo de una enzima propia de la manzana llamada *polifenol oxidasa*. Al romperse las células con la mordida, la enzima se reúne con otras moléculas llamadas *polifenoles* y, con la ayuda del oxígeno del aire, las transforma en compuestos conocidos como *melaninas*, que son los responsables del color marrón.

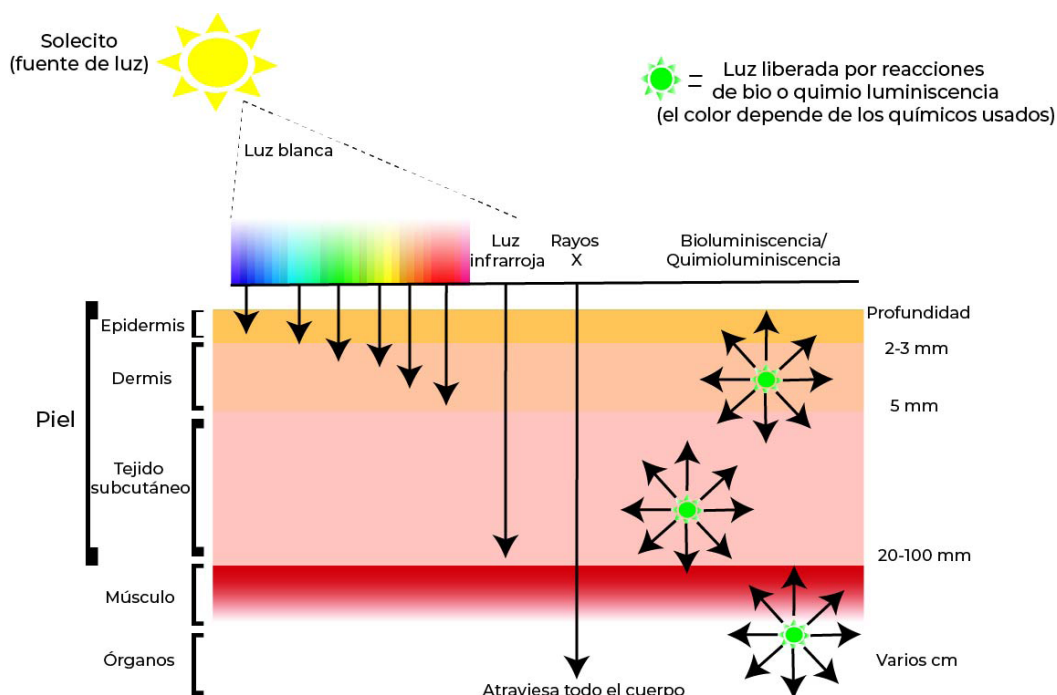
En las enzimas que producen bioluminiscencia pasa algo parecido, pero el resultado es mucho más sorprendente. Su sustrato se llama *luciferina* y cuando la enzima lo transforma en otra molécula, en lugar de cambiar de color como la manzana, libera luz.

Estas proteínas bioluminiscentes están presentes en varios animales como las luciérnagas, esos pequeños animalitos capaces de iluminar el bosque utilizan la bioluminiscencia para producir su característica luz.

Por ello es que las proteínas bioluminiscentes se estudian como una buena opción para crear luz en nuestro interior y, específicamente, dentro de los tumores profundos para activar a los FS y eliminarlos sin la necesidad de utilizar fuentes de luz externa que no penetran lo suficiente en nuestros cuerpos o que dañan nuestras células sanas (ver figura 3).

Figura 3. ¿Qué tan profundo llega la luz dentro de nuestros cuerpos? La luz blanca que proveniente del sol está formada por muchos colores. El color azul penetra solo unos 2-3 milímetros (0.2-0.3 centímetros); los colores cian, verde, amarillo, naranja y rojo penetran cada vez más, hasta aproximadamente 5 milímetros (medio centímetro). La luz infrarroja (invisible para nosotros) penetra hasta 10 centímetros en nuestros cuerpos. Los rayos X nos atraviesan completamente (pero son peligrosos). La luz producida por bioluminiscencia/quimioluminiscencia puede producirse a cualquier profundidad.

Créditos: elaboración propia.



En los primeros intentos de utilizar las proteínas bioluminiscentes para activar a los FS todo funcionó bien en el tubo de ensayo del laboratorio: las proteínas, que eran muchísimas, producían luz y ésta era captada y transformada por el FS porque ambos estaban juntos en ese pequeño tubito de vidrio. Sin embargo, cuando inyectaron estos componentes en ratoncitos los investigadores notaron que ambos tomaron caminos separados.

Esto ocurrió debido a que son de diferente naturaleza y tamaño, las proteínas son de 30 a 100 veces más grandes que los FS, por lo que éstos se dispersan mucho más rápido mientras que las primeras tardan un poquito más y, para poder producir ROS o calor de forma eficiente, se necesita que los dos se mantengan juntos uno del otro, a unos cuantos nanómetros de distancia (1 nanómetro es igual a 0.000001 milímetros).

Para resolverlo, los científicos hicieron lo más lógico: los pegaron para que estuvieran siempre juntos, pero lamentablemente esto no funcionó muy bien porque estaban demasiado cerca y los FS no lograban captar la luz producida.

¿Qué se puede hacer para colocar los FS y las proteínas bioluminiscentes en los tumores con la separación exacta para que puedan matar a las células malignas? Es una pregunta que los investigadores actualmente están tratando de contestar.

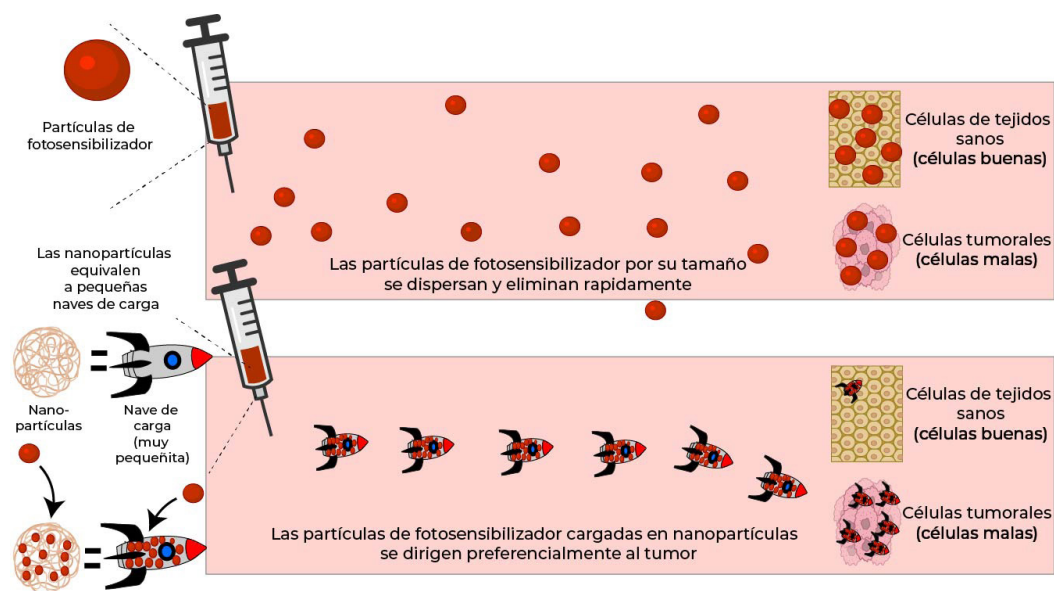
¿El futuro de la medicina basada en luz es hoy, ¿oíste viejo?!

¿Alguna vez viste algún programa de ciencia ficción en donde los protagonistas entraban en una nave que empezaba a encogerse hasta tener el tamaño suficiente para entrar al cuerpo de alguien y navegar por su sangre y tejidos? Bueno, aún no hemos descubierto la forma de encoger naves hasta ese tamaño; sin embargo, sí hemos encontrado partículas que ya tienen un tamaño nanométrico, como los virus, y hemos podido modificarlos para que funcionen como pequeñas naves de carga de lo que nosotros deseamos.

¿Por qué no cargar los FS y las proteínas bioluminiscentes en estas pequeñas naves y dirigir las hacia los tumores muy dentro del cuerpo? Esto se está evaluando favorablemente gracias a que se ha demostrado que varias nanopartículas (las pequeñas naves) son naturalmente capaces de entrar a los tumores por su pequeño tamaño (Ontiveros Gómez y Elizalde Peña, 2023). Entre los candidatos está el virus que provoca la gripe común, pero modificado para que en lugar de enfermar lleve los FS y las proteínas bioluminiscentes a los tumores (Shramova et al., 2022; ver figura 4).

Figura 4. ¿Cómo el uso de nanopartículas mejora la terapia fotodinámica? Cuando se inyectan los fotosensibilizadores solos, debido a su diferencia de tamaño la mayoría se elimina rápidamente, por lo que hay que inyectar grandes cantidades para que una parte llegue al tumor, pero otra gran porción llega a otros tejidos sanos. Al cargar los fotosensibilizadores en nanopartículas, estas partículas funcionan como una nave de carga que aumenta su acumulación en los tumores sin requerir dosis tan altas y puede evitarse su acumulación en tejidos sanos.

Créditos: elaboración propia.



Hoy en día los científicos continúan buscando formas más eficientes, como la anterior, de eliminar a las células enfermas del interior de nuestros cuerpos y descubriendo moléculas cada vez más sensibles a la luz, nuevas proteínas bioluminiscentes más potentes y nuevas nanopartículas que sirvan como naves de carga para que la terapia fotodinámica llegue exactamente a los tumores.

En conclusión, la ciencia ha permitido que los humanos podamos utilizar el poder que contiene la luz como un arma para eliminar algunas enfermedades gracias a los fotosensibilizadores. El avance de la nanotecnología actual permite eliminar células tumorales con mayor precisión, mientras se investiga qué tipos de cáncer son más susceptibles a esta terapia y en cuáles se presentan menores efectos secundarios.

Con la modificación de las nanopartículas, podemos lograr que estas pequeñas naves puedan dirigirse a donde nosotros queramos, lo que puede contribuir a eliminar células tumorales, bacterias o parásitos sin importar en qué parte del cuerpo se encuentren. Aunque esta tecnología aún tiene mucho camino por recorrer, ¡la medicina basada en luz está más cerca de lo que crees!

Referencias

- ❖ Beani, J.-C. (2022, marzo). Fotodermatosis: aspectos fundamentales, clasificación y diagnóstico. *Lucitis idiopáticas*. EMC - *Dermatología*, 56(1), 1-19. [https://doi.org/10.1016/S1761-2896\(22\)46055-9](https://doi.org/10.1016/S1761-2896(22)46055-9)
- ❖ Blanco Rodicio, A., Martínez Baladrón, A., Otero Millán, L., y López Fernández, I. (2021, diciembre). Fitofotodermatitis. *Formación Médica Continuada en Atención Primaria*, 28(10), 573-575. <https://doi.org/10.1016/j.fmc.2021.01.011>
- ❖ Delgado-Villacis, C. H., Calvo-Betancur, V. D., y Escobar-Franco, M. M. (2022, octubre-diciembre). Fotoenvejecimiento cutáneo y su relación con el cáncer de piel: revisión sistemática. *Medicina y Laboratorio*, 26(4), 335-351. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=716479674003>
- ❖ Ontiveros Gómez, L. A., y Elizalde Peña, E. A. (2023, enero-junio). Nanotecnología aplicada en terapia fotodinámica, una nueva generación: una revisión. *Perspectivas de la ciencia y la tecnología*, 6(10), 76-88. <https://revistas.uaq.mx/index.php/perspectivas/article/view/721/912>
- ❖ Mordon, S., Martínez-Carpio, P. A., Vélez, M., Alves, R., y Trelles, M. A. (2012, julio-septiembre). Terapia fotodinámica (PDT) en piel y estética: procedimiento, materiales y método en base a nuestra experiencia. *Cirugía Plástica Ibero-Latinoamericana*, 38(3), 287-295. <https://dx.doi.org/10.4321/S0376-78922012000300012>
- ❖ Shramova, E. I., Chumakov, S. P., Shipunova, V. O., Ryabova, A. V., Telegin, G. B., Kabashin, A. V., Deyev, S. M., y Proshkina, G. M. (2022, 21 de febrero). Genetically encoded BRET-activated photodynamic therapy for the treatment of deep-seated tumors. *Light: Science and Applications*, 11(38). <https://doi.org/10.1038/s41377-022-00729-4>
- ❖ Vicentini, C., Tylcz, J.-B., Maire, C., Mordon, S., y Mortier, L. (2017, septiembre). Terapia fotodinámica. EMC - *Dermatología*, 51(3), 1-8. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S1761-2896\(17\)85934-3](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S1761-2896(17)85934-3)

