

DEL SOL A LA CIENCIA:

EL PODER DE LOS MATERIALES FOTOACTIVOS

Obed Yamín Ramírez Esquivel,^{1,2}
Ana Luisa Martínez García,^{2,3}
Axel Agustín Ortiz Atondo,^{2,3}
Zeuz Montiel González,^{2,3}
Dalia Alejandra Mazón Montijo,^{1,2}

¹ SECIHTI-Tecnológico Nacional de México campus Nuevo León (TECNL), Centro de Investigación e Innovación Tecnológica (CIIT), Apodaca, Nuevo León 66629, México.

² Laboratorio de Diseño y Optimización de Recubrimientos Avanzados (DORA-Lab), CIMAV-Mty/TECNL-CIIT, Parque de Investigación e Innovación Tecnológica, Apodaca, Nuevo León 66629, México.

³ Centro de Investigación en Materiales Avanzados, S. C., subsede Monterrey, Apodaca, Nuevo León 66628, México.

DOI: 10.59730/rer.v12n56a3

Palabras clave:

materiales fotoactivos, semiconductores,
baja emisividad, celdas solares, fotocatalisis



Desde la antigüedad, los humanos hemos buscado aprovechar la energía proveniente del Sol. A lo largo de los siglos se ha usado esta energía para calentar, iluminar y, más recientemente, generar electricidad. Con los avances científicos y tecnológicos, hemos aprendido a utilizar el poder del Sol de maneras cada vez más sofisticadas, en gran medida, debido a los materiales fotoactivos. Estos materiales, especialmente los semiconductores, han evolucionado hasta convertirse en piezas clave de las tecnologías que empleamos a diario. Gracias a los avances en investigación científica, los materiales fotoactivos están revolucionando desde la generación de energía limpia hasta el tratamiento de aguas residuales y el desarrollo de dispositivos inteligentes, ofreciendo soluciones sostenibles para el futuro. ¿Sabías que se puede generar electricidad o descontaminar el agua con la luz y estos materiales? ¡Su potencial es increíble! Tal vez no se note, pero cada vez que se usa un panel solar para generar energía o cuando una ventana inteligente regula la luz en un espacio, estamos interactuando con materiales fotoactivos. Pero, ¿cómo logran transformar la luz en energía o en un cambio funcional?, para entenderlo, debemos explorar la naturaleza de la luz y su interacción con los materiales.

La fotoactividad es la capacidad de un material para interactuar con la luz y modificar sus propiedades o las de la luz. La luz, conocida científicamente como "espectro de radiación electromagnética", es energía que se propaga en forma de ondas que abarcan diferentes regiones de ese espectro. Un ejemplo de la existencia de regiones en el espectro solar es la descomposición de la luz en los colores del arcoíris. Este fenómeno interesante se forma cuando las gotas del agua en el aire actúan como pequeños lentes y dividen la luz en sus diferentes colores. En la región del espectro llamada "visible", cada color del arcoíris tiene una característica específica de las ondas conocida como "longitud de onda". Pero ¿qué es la longitud de onda?, de manera simple, la luz se comporta como una onda que se puede medir según su tamaño.

Veámoslo así, si nos situamos en la orilla del mar observando las olas, algunas serán pequeñas y cercanas, mientras que otras serán grandes y separadas. La distancia entre el punto más alto de dos olas consecutivas es lo que se conoce como longitud de onda. En la luz ocurre igual, hay longitudes de onda cortas, como en la región ultravioleta (UV), conocida por ser una de las principales causas del cáncer de piel. Otras tienen longitudes de onda largas, como en la región infrarroja (IR), la responsable de la sensación de calor. Entre estas dos regiones tenemos la región visible (Vis), ésta es la luz que podemos ver. Las longitudes de onda de cada una de estas regiones son las siguientes, todas expresadas en nanómetros (nm) el cual corresponde a una mil millonésima parte de un metro:

- Región IR de 700 a 1,000,000 nm
- Región Vis de 400 a 700 nm
- Región UV de 250 a 400 nm

Distintos materiales fotoactivos aprovechan diversas regiones del espectro solar para múltiples aplicaciones (Figura 1). Algunos de sus usos impresionantes incluyen: conversión de luz en electricidad, como sucede en celdas solares o incluso en ciertas calculadoras que se cargan al ser expuestas al Sol; la modulación de la apariencia óptica de ventanas inteligentes, como los baños públicos transparentes en Tokio, Japón; y la aceleración de reacciones químicas mediante fotosíntesis y fotocatalisis. Lo más interesante de estas aplicaciones es su impacto positivo en el ambiente, ya que contribuyen a reducir la dependencia de hidrocarburos y también a destruir contaminantes.

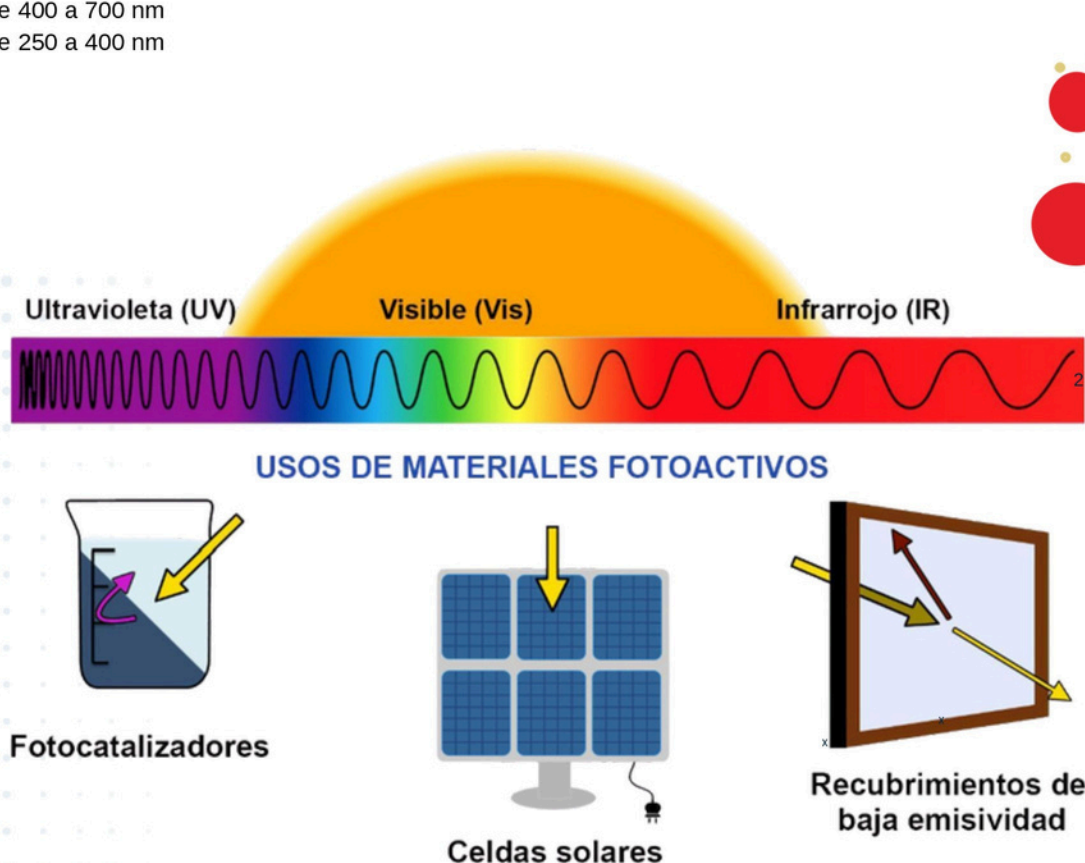
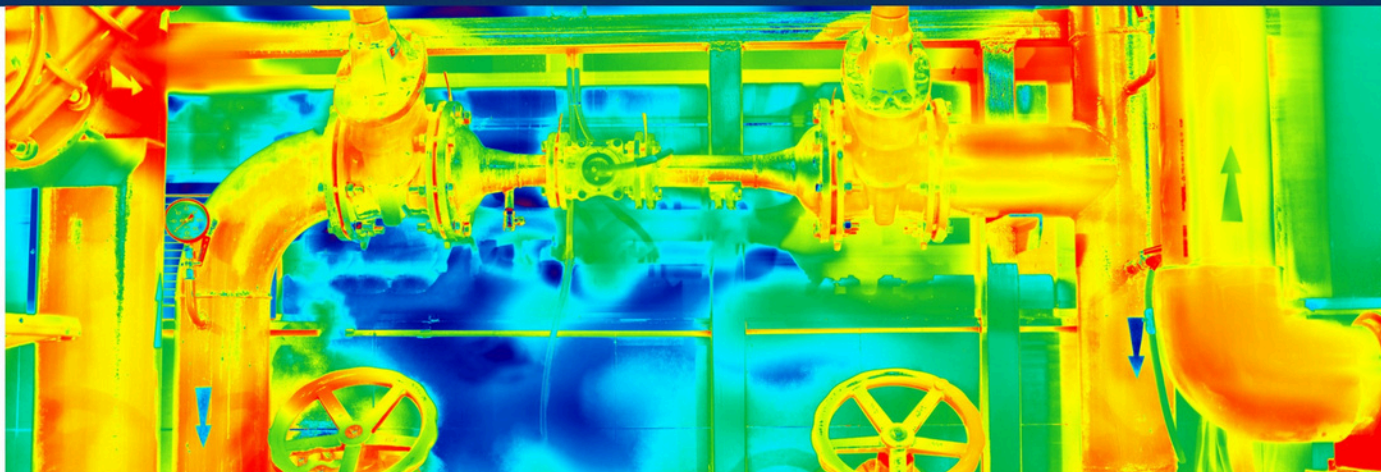


Figura 1. Ejemplos de aplicaciones de los materiales fotoactivos.

A continuación, explicaremos cómo los materiales fotoactivos responden a las diferentes longitudes de onda en los intervalos IR, Vis y UV. Como veremos, esta interacción depende de su constitución en las diferentes escalas, desde lo macro hasta lo atómico, por ejemplo, qué tan rugosa o accidentada es su superficie, qué elementos los conforman, el acomodo de sus átomos y la distribución de sus electrones.

REGIÓN DEL INFRARROJO: MÁS ALLÁ DE LO VISIBLE



Esta región es considerablemente más amplia que las otras dos regiones, debido a las longitudes de onda que abarca. Sus ondas, más largas que las de la luz visible, hacen que el ojo humano no pueda percibir las; es como intentar ver las olas en lo más profundo del océano, aunque sabes que están allí, sólo puedes ver el horizonte. El término "infrarrojo" indica que esta región comienza justo después del color rojo de la región visible. Si bien, no podemos ver luz infrarroja, ésta está presente en forma de calor.

Cualquier objeto con temperatura sobre el cero absoluto (la temperatura más baja posible) emite radiación infrarroja, esto incluye nuestro cuerpo, el cual es un excelente radiador de calor. En las últimas décadas, la radiación IR se ha aprovechado en múltiples aplicaciones, por ejemplo: el control remoto de televisión emite luz infrarroja hacia un sensor en el televisor para poder operarlo, en las cámaras térmicas en medicina y seguridad se usa para detectar el calor, en lámparas en fisioterapia para aliviar dolores, también en calentadores, entre otros dispositivos. En todos estos casos se necesita una fuente de luz IR y un material que la absorba y reaccione a ella.

En los calentadores de agua, se absorbe una parte de la radiación IR conocida como infrarrojo térmico, la principal responsable de la sensación de calor, cuya longitud de onda oscila entre los 8,000 a 15,000 nm. Cuando la luz del Sol interactúa con un material fotoactivo, en algunos casos, éste puede absorber el calor y así provocar que sus electrones se vuelvan más activos, moviéndose más rápidamente como si estuvieran corriendo de un lado a otro. Tras un tiempo, los electrones necesitan descansar, así que liberan esta energía en forma de vibraciones por todo el material. Este proceso incrementa su energía térmica, elevando así su temperatura. Con el diseño adecuado de un calentador solar, la energía térmica se transfiere



al agua mediante procesos de conducción y convección. Primero, las vibraciones del material chocan con las moléculas de agua que están en contacto con su superficie. Estas moléculas absorben la energía y comienzan a vibrar más rápidamente, lo que aumenta su temperatura. Después, el calor se distribuye a través del agua mediante convección (un proceso en el que las moléculas calientes suben mientras que las frías bajan), creando un flujo constante que homogeniza su temperatura. Este mecanismo de transferencia térmica es fundamental para el funcionamiento eficiente de los calentadores solares de agua y es un claro ejemplo de cómo la energía solar puede aprovecharse de manera práctica.

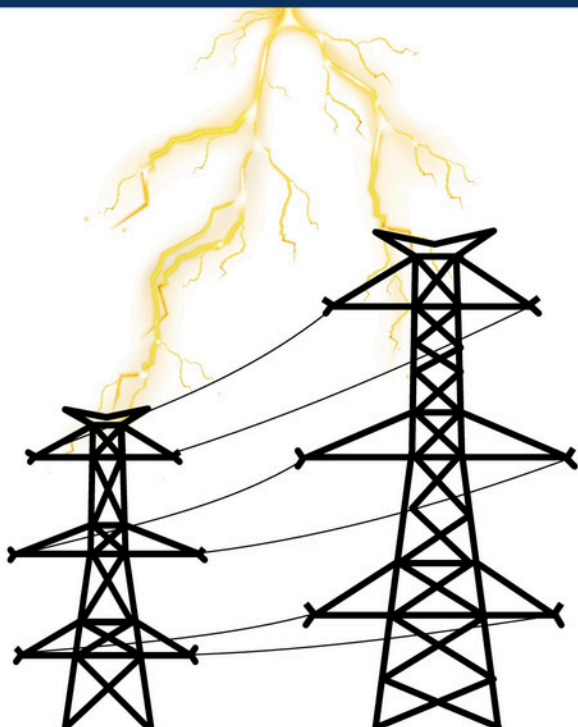
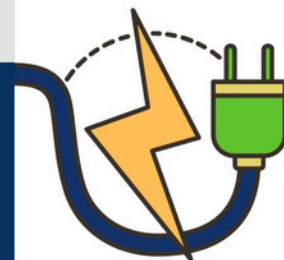
Sin embargo, no todos los materiales fotoactivos aprovechan la absorción de radiación IR, algunos buscan rechazarla. Por ejemplo, un problema común es el exceso de calor dentro de lugares cerrados como casas, cines, oficinas, o cualquier tipo de edificación. En este contexto, los materiales fotoactivos pueden ser útiles en aplicaciones como los recubrimientos de baja emisividad, ya que en ellos se da una interacción específica entre los electrones del material fotoactivo y la luz, que lleva a la reducción de la transferencia de calor. Por ello, suelen colocarse en las ventanas para reflejar la luz térmica proveniente del Sol.

Materiales como el óxido de indio-estaño y metales como la plata son ideales para esta aplicación, ya que tienen un exceso de electrones que pueden moverse libremente dentro del material con solo un pequeño estímulo (por ejemplo, calor o electricidad). En estos materiales, los electrones de la superficie absorben momentáneamente la radiación IR, lo que los hace vibrar a gran velocidad (como cuando llega una notificación al celular, pero un millón de veces más rápido) y después la reflejan hacia afuera, evitando así que el calor se acumule en el interior de las edificaciones. Los materiales de baja emisividad son comúnmente utilizados en ventanas de rascacielos y, recientemente, en automóviles y trenes, reduciendo la necesidad de aire acondicionado. Sin embargo, aunque esta tecnología funciona, la escasez de materiales en la corteza terrestre ha llevado a los científicos a buscar alternativas entre los fotoactivos, buscando que sean más abundantes y cuyo proceso de fabricación sea amigable con el ambiente.



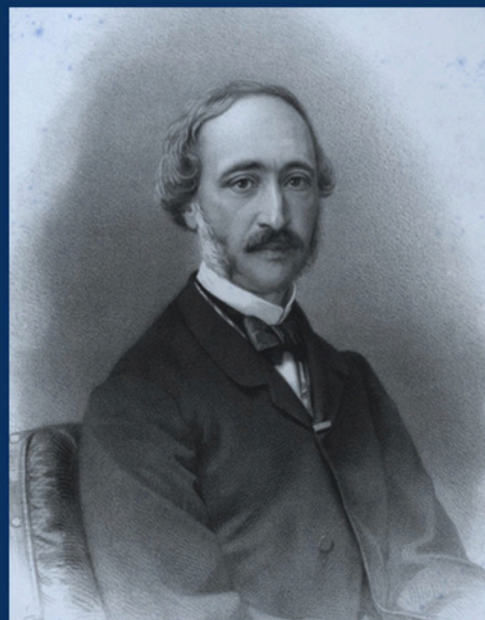
“Los materiales de baja emisividad son comúnmente utilizados en ventanas de rascacielos y, recientemente, en automóviles y trenes, reduciendo la necesidad de aire acondicionado”.

REGIÓN VISIBLE: TRANSFORMANDO LUZ EN ENERGÍA



Diversos materiales presentan fotoactividad dentro del intervalo de la luz visible, los cuales han sido aprovechados en una amplia gama de aplicaciones tecnológicas, siendo la más destacada la generación de energía eléctrica. Actualmente, la demanda de electricidad en nuestra sociedad es inmensa y va en aumento. Basta imaginar un día sin ella para notar su importancia, ¡sería un caos total! Desde nuestra comunicación y entretenimiento hasta el trabajo y los servicios médicos, todo depende de un suministro constante de electricidad. Esta necesidad ha impulsado la búsqueda de fuentes renovables y sostenibles, entre las cuales la energía solar se destaca por su gran potencial. Afortunadamente, México es un país privilegiado para el aprovechamiento de esta fuente de energía, ya que recibe una gran cantidad de radiación solar, sólo por debajo de China y Singapur. Por lo que, ¡ya tenemos la fuente de energía! solo falta el uso de materiales fotoactivos para la conversión de la luz solar en electricidad de manera eficiente.

Antes de entrar en detalles, repasemos un poco de historia. En 1838, Alexandre-Edmond Becquerel, un científico de tan solo 19 años de edad, realizó un descubrimiento sorprendente. Observó que ciertos materiales generaban un flujo de corriente eléctrica al ser expuestos a la luz solar. Este fenómeno, conocido como efecto fotovoltaico, marcó el primer paso en el desarrollo de la tecnología solar. Sin embargo, la tecnología necesaria para aprovecharlo de manera práctica tardó en desarrollarse. No fue sino hasta 1954 que el laboratorio Bell, en Estados Unidos, presentó la primera celda solar funcional. Este dispositivo pionero, basado en el uso de silicio (material que se encuentra en la arena de playa), fue capaz de convertir la luz solar en electricidad con una eficiencia del 6%, esto es, solo el 6% de la luz que incidía en la celda era convertido en energía eléctrica. Aunque esta cifra es baja en comparación con los estándares modernos de hasta 47.6% a nivel laboratorio, en su momento representó un hito importante en la historia de la energía renovable. Desde entonces, la tecnología fotovoltaica sigue mejorando gracias a la investigación de nuevos materiales y dispositivos, abriendo más oportunidades para aprovechar la energía del Sol de manera eficiente y sostenible.



Dentro de una celda solar vamos a encontrar materiales fotoactivos que cumplen una función especial: absorber la radiación Vis y transformarla en electricidad. Para que esto suceda se requieren los siguientes pasos, los cuales se representan en la Figura 2:

1

La luz del Sol incide sobre la celda, siendo la región Vis la que llega con mayor intensidad. Las partículas elementales de la luz, llamadas fotones, interactúan con los electrones de los materiales fotoactivos, que son generalmente semiconductores.

2

Al absorber la energía de la luz, los electrones de los materiales fotoactivos reciben un impulso, esto es, la energía absorbida hace que incrementen su dinamismo y salten a un nivel de energía superior, al hacer esto dejan un espacio vacío detrás conocido como "hueco". Estos saltos generan electrones que puedan ser aprovechados para producir energía eléctrica.

3

Ahora bien, no basta con generar electrones, es necesario que se muevan en una dirección específica. Aquí entra en acción una estructura clave dentro de las celdas solares, "la unión PN". Esta unión está formada por dos tipos de materiales fotoactivos semiconductores: el tipo P que contiene más huecos y el tipo N que tiene un exceso de electrones. Tal unión actúa como una aduana que restringe el movimiento de los electrones en una sola dirección creando un flujo de corriente eléctrica.

4

Hasta este punto se generan electrones los cuales empiezan a fluir, solo falta conectar la celda solar a un circuito externo para aprovechar esa corriente eléctrica. ¡Incluso suministrar electricidad a toda una casa!

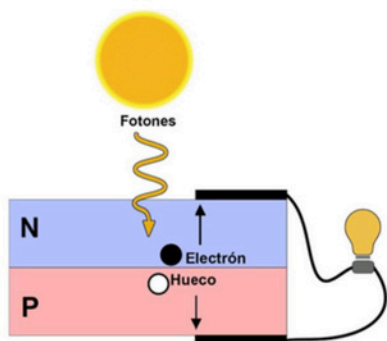
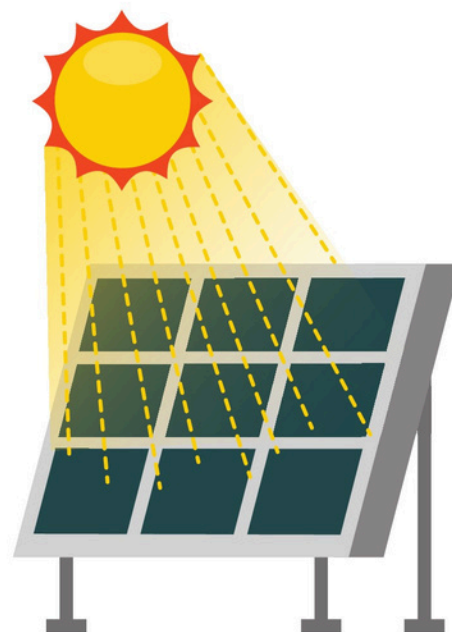
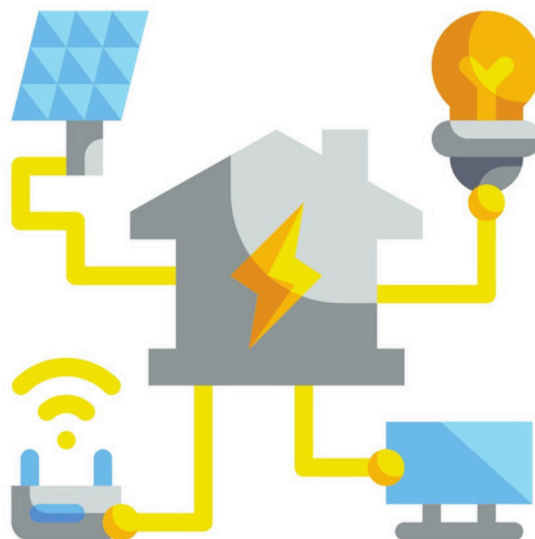


Figura 2. Representación simplificada de una celda solar.



La mayoría de las celdas solares en el mercado están fabricadas con silicio, el segundo elemento más abundante en la corteza terrestre. Su disponibilidad lo convierte en un material atractivo, sin embargo, su elaboración es costosa, lo que dificulta la producción masiva de celdas solares accesibles. Ante este desafío, se están investigando nuevos materiales fotoactivos que permitan una alta eficiencia a un menor costo. El objetivo es claro: hacer que la energía solar se convierta en una alternativa para todo el mundo.

REGIÓN ULTRAVIOLETA:

MÁS ENERGÍA, MENOR LONGITUD DE ONDA

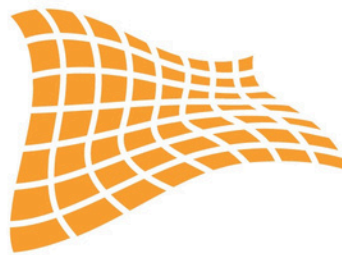
Aquí es importante destacar que la relación entre la energía de la luz y su longitud de onda es inversamente proporcional. Imaginemos que tenemos una gran cantidad de dinero ahorrado (que representa la longitud de onda), a medida que comenzamos a gastarlo en distintas cosas (que simbolizan la energía), el ahorro disminuye. Entonces, entre más cosas tenemos, menos dinero nos queda. Así, aunque la región UV tiene las longitudes de onda más cortas, ¡son las más energéticas! ¿Por qué debería preocuparnos esto?, porque su energía es comparable a recibir una descarga eléctrica de distinta intensidad. Por ejemplo, al electrocutarse con un cable de poca energía instalado en casa, se podría sentir un cosquilleo, pero si la descarga proviene de un cable de una torre de alta tensión, que posee mucha energía, ¡cuidado! el riesgo es mayor y puede ser letal. Algo similar ocurre con la luz UV, aunque solo el 10% de la radiación solar que llega a la tierra pertenece a esta región, su alta energía la hace potencialmente peligrosa. Sin embargo, también puede ser muy útil si se aprovecha adecuadamente, considerando las diferentes regiones en las que se divide:



UV-C, abarca longitudes de onda inferiores a 280 nm. La mayor parte de esta radiación es absorbida en la atmósfera y no llega a nosotros, pero es posible generarla artificialmente, por lo que hay lámparas que emiten exclusivamente luz UV-C. Su altísima energía tiene un efecto destructivo sobre el ADN de microorganismos, lo que la hace ideal para la esterilización, purificación de agua y desinfección de aire.

UV-B, abarca longitudes de onda entre 280 y 315 nm. Esta radiación sí llega a la superficie terrestre y es la responsable de los efectos nocivos del Sol sobre la piel. Solo 15 minutos de exposición a esta radiación pueden causar daños significativos provocando quemaduras solares y cáncer de piel. ¿Y cómo pueden ayudarnos los materiales fotoactivos a prevenir este tipo de daño? La respuesta es simple ¡con bloqueadores solares! al añadir a la fórmula del bloqueador algún material fotoactivo que interaccione con la región UV-B. Ejemplos de estos materiales son el óxido de zinc y el dióxido de titanio, que funcionan como filtros físicos creando una barrera que absorbe y desvía los rayos UV-B antes de que puedan dañar la piel.

UV-A, tiene longitudes de onda desde 315 hasta 400 nm. Esta región puede ser utilizada con moderación en camas de bronceado y también como luz negra. Este tipo de luz, invisible para el ojo humano, tiene la capacidad de hacer que ciertos materiales brillen gracias a un fenómeno denominado fluorescencia. Para que esto ocurra, los materiales deben tener moléculas fluorescentes que absorban la luz UV-A y emitan luz visible, lo que permite observarlos en la oscuridad, por ello es utilizada para buscar rastros de pruebas en escenas de crimen.



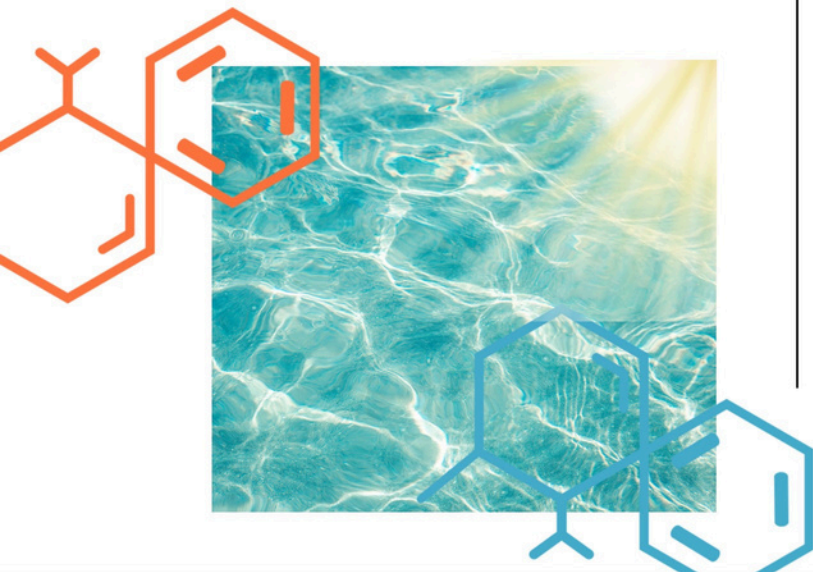
Por lo tanto, todas las regiones de la luz UV funcionan para una aplicación determinada. Considerando la descontaminación del agua, si lo intentamos solo con radiación UV, el proceso sería extremadamente lento y provocaría que el agua se evapore antes de que se descontamine. No obstante, se puede combinar la acción de un material fotoactivo con la luz. Al introducir el material en un recipiente con agua contaminada y exponerlo a la luz UV, se acelera la descomposición de las moléculas contaminantes, mediante un proceso conocido como "Fotocatálisis". Un ejemplo de material fotoactivo que actúa en esta región de luz, es el versátil dióxido de titanio, el mismo empleado en bloqueadores solares. Su funcionamiento es el siguiente:

1

El material absorbe los rayos UV provocando la generación de electrones y huecos, similar a lo que ocurre en las celdas solares.

2

Estos electrones y huecos deben llegar a la superficie del material para interactuar con las moléculas contaminantes. Cuando esto sucede, el sistema se vuelve aún más dinámico y se generan los llamados "radicales libres", especies químicas ¡que buscan una pareja! Veámoslo así, a los radicales les hace falta un electrón y esto hace que tengan la necesidad de buscar otro para completar un enlace químico, por ello se considera que son especies altamente reactivas. Esta búsqueda de pareja es la que los lleva a interactuar con las moléculas contaminantes ¡rompiéndolas! y degradándolas hasta obtener compuestos más simples y menos tóxicos.



Sin embargo, dado que el Sol cuenta con mayor cantidad de radiación visible, existe una gran oportunidad para los científicos que estudian procesos fotocatalíticos con materiales capaces de activarse en esta región del espectro, aprovechando al máximo la radiación solar.

Los retos de la fotoactividad

De esta manera, al comprender las distintas regiones del espectro solar y cómo interactúan con los materiales fotoactivos, es posible desarrollar diversas aplicaciones tecnológicas. Los actores de esta narrativa ya son parte esencial de nuestra vida diaria, pero aún quedan muchas preguntas abiertas: ¿cómo hacerlos más eficientes?, ¿qué papel jugarán en las tecnologías del futuro? La investigación avanza constantemente y, gracias al trabajo conjunto de disciplinas como química, física y ciencia de materiales, se diseñan nuevas combinaciones con usos múltiples. Las posibilidades son enormes y el reto sigue siendo el mismo: ¿hasta dónde podremos aprovechar el poder de la luz y adaptarlo a nuestro entorno a través de la ciencia?

