

PLASMONES: Nuevas aplicaciones en la fotónica

Emilye. R. L. Loustau^{1,2}

Jesús Antonio del Río Portilla^{1,2,3}

¹ Centro de Investigación en Energía, UNAM

² Centro de Ciencias de la Complejidad, UNAM

³ Miembro de la Academia de Ciencias de Morelos

Como todas las ciencias, la física tiene que inventar algunas palabras para describir los fenómenos o los descubrimientos que hace; es así como se han inventado las palabras electrón, neutrón y protón para nombrar a las partículas que forman el átomo. La Física ha bautizado muchas otras partículas, ya del uso común, como los fotones y los fonones que se relacionan con las ondas electromagnéticas y las ondas mecánicas que viajan en un material, respectivamente. En este artículo hablaremos de los *plasmones* que, a pesar de ser poco populares explican, por ejemplo, los brillantes colores de los vitrales de la catedral de *Notre Dame* (figura 1), incrementan la eficiencia de las celdas fotovoltaicas, contabilizan concentraciones de hasta una molécula en soluciones químicas, y son muy útiles en terapias contra el cáncer [1]. Descubiertos por Rufus Ritchie en 1957, los plasmones prometen revolucionar la tecnología del futuro. Recientemente, se propuso el uso de plasmones



1. Roseta de Notre Dame de Paris.

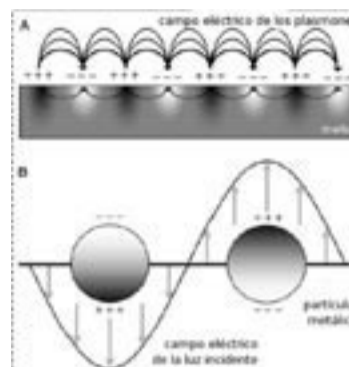
en la construcción de "tenazas ópticas" para la manipulación de nanopartículas y proteínas; en el funcionamiento de nanocomputadoras que trabajan con fotones; y en el uso nanoantenas para amplificar señales.[2]. Pero antes de continuar con esta relación de aplicaciones es importante entender ¿qué son y dónde se encuentran los plasmones?

Una "jalea electrónica"

Los plasmones se generan cuando interaccionan materiales sólidos, particularmente metales, con un campo electromagnético. Los electrones de un metal se comportan como una "jalea electrónica", es decir, ante la presencia de un campo eléctrico los electrones se desplazan siguiendo a la parte positiva del campo. No obstante, este desplazamiento de electrones presenta cierta resistencia debido a que los núcleos atómicos, que poseen

una carga positiva, tienden a moverse en dirección contraria por tener carga eléctrica diferente. Como los núcleos atómicos son miles de veces más masivos que los electrones, su movimiento es imperceptible respecto a éstos. Al suprimirse el campo eléctrico sobre el metal, sus electrones son atraídos de regreso por los núcleos atómicos, sin embargo, queda un movimiento remanente, como cuando movemos una gelatina y continúa moviéndose después de la perturbación inicial. Esto es, la "jalea electrónica" oscila entre las posiciones extremas de los electrones (con campo y sin él) hasta encontrar nuevamente su posición de equilibrio. A la oscilación de la "jalea electrónica" se le llama plasmón. Podemos imaginar a un plasmón como la perturbación u onda que viaja en la "jalea electrónica", transportando a su paso energía y siendo capaz de acoplarse con otros plasmones u oscilaciones.

Plasmones en *Notre Dame*
Ahora bien, si los plasmones se generan mediante el impulso de fotones, en lugar de utilizar un campo eléctrico, se tiene un campo electromagnético y el metal se ilumina. En este caso, los fotones golpean a los electrones que están sobre la superficie del material, provocan su movimiento y por lo tanto, crean la oscilación de la "jalea electrónica". Las



2. A) Representación de la propagación de un plasmón de superficie. B) Representación de plasmones de superficie localizados. Las regiones de mayor densidad electrónica tienen un sombreado ligero. Los campos eléctricos están indicados con flechas [3].

ondas viajeras que se producen sobre la superficie del metal se llaman *plasmones de superficie* (PS) (Figura 2). Este tipo de plasmones es, en gran parte, responsable del brillo y color de los metales. Los PS son más intensos que los plasmones que se generan en el cuerpo del metal (plasmones volumétricos); además, debido a que están en la frontera del material y en contacto con el medio ambiente, sólo se pueden mover sobre la superficie. Así, los PS están bien localizados (en la superficie) y dado que su intensidad es grande, comparada con los plasmones volumétricos, los PS pueden interaccionar con los fotones de una forma intensa y

por esto son los mejores candidatos para ser usados para conducir luz, es decir, para aplicaciones fotónicas.

Los vitrales de la catedral de *Notre Dame*, en Paris, contienen nanopartículas de cloruro de oro, óxidos metálicos y otros cloruros [4] que al ser perturbados por los fotones de la luz solar, generan plasmones sobre su superficie. Como se mencionó en el párrafo anterior, los PS intensifican la perturbación inicial, por lo que después de varios siglos, los colores de los vitrales son muy brillantes y atractivos. En la figura 3, se presenta una estructura en forma de roseta que se construyó con nanopartículas de oro. Al iluminarse con luz solar, se produce una imagen con colores muy brillantes que evocan a los vitrales góticos. Los colores verde, azul y violeta que se observan, son producto del tamaño y forma de las nanopartículas metálicas [5].

Aplicaciones revolucionarias
Recordemos que mientras la electrónica puede transmitir información usando electrones, la fotónica lo hace con fotones y las señales se mueven a la velocidad de la luz, de ahí la importancia de los plasmones. La fotónica, creada en la década de los 60, nos brinda aplicaciones muy útiles y que forman parte de la vida cotidiana actual, por ejemplo: la telecomunicación por medio de la fibra óptica, el fotocopiado e impresión láser, el almacenamiento óptico de datos en CD, DVD o *Blu-Ray*. Y en el futuro, la fotónica contribuirá a que los circuitos basados en PS sean más rápidos, con menor consumo de energía que los electrónicos y que ocupen menos espacio que los ópticos o electrónicos, razón por la cual se piensa revolucionarán el tamaño, la velocidad, la potencia y el costo de la nueva generación de computadoras [6].

Como mencionamos, los PS pueden entenderse como ondas viajeras parecidas a las generadas en un lago al arrojar una piedra sólo que, en lugar del agua, el medio perturbado es la "jalea electrónica" y en lugar de piedra se lanza un fotón: un rayo de luz. Imaginemos una hoja de árbol flotando sobre el agua cerca de donde se lanzó la piedra; la hoja se moverá siguiendo la oscilación provocada por la piedra. Claramente podemos guiar a la hoja hacia cierta región del lago lanzando piedras en sitios estratégicos para que las ondas generadas la dirijan a un lugar deseado. Del mismo modo, se propone usar a los plasmones para guiar a los fotones hacia re-



LOMAS VISTA HERMOSA
FRACCIONAMIENTO

La zona más exclusiva de Cuernavaca

CASAS Y TERRENOS
Lotes desde 500 m²

312 • 41 • 41



3. Primer plano: patrón tipo “roseta” conformado de nanopartículas metálicas. Plano posterior: imagen observada en un microscopio óptico después de excitar con electrones al patrón roseta. Los brillantes colores son resultado de la composición, forma y tamaño de las nanopartículas metálicas del patrón [5].

giones espaciales específicas. A este nanodispositivo se le conoce como “pinza óptica plasmónica” [7].

Recientemente se han usado los efectos plasmónicos para aumentar la eficiencia de las celdas fotovoltaicas basadas en materiales orgánicos. Estas celdas tienen eficiencias de alrededor del 5%, pero cuando se colocan entre dos placas que contienen nanopartículas de oro aparece el efecto plasmónico entre las nanopartículas y con ello, aumenta la eficiencia de colección de fotones, disminuye la resistencia eléctrica y por lo tanto aumenta la eficiencia de la celda fotovoltaica a cerca del 20%. El efecto plasmónico proviene de la interacción de la luz y las nanopartículas y provoca que los electrones excitados por la luz, en los materiales orgánicos, resuenen entre las placas metálicas de tal manera que se mueven colectivamente entre ellas [8]. Este movimiento genera intensos campos electromagnéticos cerca de la superficie del metal e induce a que los plasmones aumenten las probabilidades de recolectar fotones y, además, enfoca la radiación en esta región. De hecho, la mayoría de los esfuerzos por diseñar y construir celdas fotovoltaicas más eficientes usando nanopartículas se fundamentan en la creación de plasmones.

Aunque espectaculares, las futuras aplicaciones de los plasmones están a la espera de que se resuelvan algunos problemas experimentales; por ejemplo la pérdida de plasmones conforme aumenta la temperatura del material. Al retomar la analogía, la jalea de electrones oscila menos cuando aumenta la temperatura. Con las aleaciones metálicas actuales, los dispositivos plas-

mónicos operan por debajo de la temperatura ambiente (300 K) lo que eleva su costo de operación. Aunque ya se tienen en la mira aleaciones como la del nitruro de titanio, óxido de indio, óxido de galio envenenado con zinc o nitruro de zirconio, que poseen propiedades electrónicas metálicas y que no son tan sensibles a la temperatura como los metales nobles, aún continúa la fase

de estudio para conocer todas sus propiedades. Es así como los plasmones empujan a la nueva generación de materiales: la de los *metamateriales*.

Bibliografía

- [1] Joerg Heber, “Surfing the wave”, Nature Vol.461(2009)720-722.
[2] “Plasmonics”, MRS BULL, Vol. 37(8), Agosto 2012.

[3] Dean J. Campbell and Younan Xia, “Plasmons: Why should we care?”, Journal of Chemical Education, Vol. 84, No. 1(2007)91-96.

[4] www.nano.gov/timeline (consultada el 29 de noviembre de 2012).

[5] Jennifer A. Dionne and Harry A. Atwater, “Plasmonics: Metalworthy methods and materials in nanophotonics”, MRS BULL (2012)717-724.

[6] Volker J. Sorger, Rupert F. Oulton, Ren-Min Ma and Xiang Zhang, “Toward integrated plasmonic circuits”, MRS BULL(2012)728-738.

[7] Romain Quidant, “Plasmonic tweezers-The strength of surface plasmons”, MRS BULL(2012)739-744.

[8] <http://www.energyfrontier.us/newsletter/201206/gold-shines-new-solar-cell-design>



yoo
QUIERO TODO CONTIGO

Cable DIGITAL + Internet SÚPER RÁPIDO + Telefonía ILIMITADA

Contáctanos
01 800 522 2530  
www.cablemas.com



Consulta términos, condiciones, cobertura y disponibilidad en oficinas Cablemás o al 01 800 522 2530

Para actividades recientes de la Academia y artículos anteriores puede consultar:
www.acmor.org.mx