

# UNA NUEVA ERA POR VENIR: BIOFOTÓNICA Y BIONANOTECNOLOGÍA

## A NEW ERA IS COMMING: BIOPHOTONICS AND BIONANOTECHNOLOGY

Christhian Adonái González Valdez\*

*Artículo recibido: 4-10-2016*

*Aprobado: 15-11-2016*

### Resumen

El objetivo principal de este artículo es poder relatar algunos avances científicos y tecnológicos que ha alcanzado el hombre y que lo han llevado a cruzar las barreras del macro-universo y del micro-universo. Experimentos efectuados en condiciones de microgravedad, así como a nivel molecular han permitido al hombre mejorar su calidad en salud y de seguridad. En el momento que la luz cambia de ser un objeto de estudio a una herramienta tecnológica, la ciencia tiene una explosión en sus posibilidades de desarrollo, originando dos nuevos campos de estudio: la biofotónica y la bionanotecnología. Pasar de un concepto de especialización científico a otro de investigación multidisciplinaria es el reto actual en la formación de los estudiantes y académicos, quienes tienen en sus manos resolver las nuevas exigencias que representa el desarrollo científico y tecnológico del hombre. Así se enfatiza la importancia en la propuesta de la Universidad Iberoamericana León, al crear el primer programa de licenciatura en Bionanotecnología.

\*Académico-investigador del Departamento de Ciencias e Ingeniería, Universidad Iberoamericana León, México; Miembro del Sistema Nacional de Investigadores del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (Conacyt) nivel I; Doctor en Ciencias. [adonai.gonzalez@iberoleon.mx](mailto:adonai.gonzalez@iberoleon.mx)

### Abstract

The main objective of this article is to describe some scientific and technological advances reached by the man which led him to cross the barriers of macro-universe and the micro-universe. Experiments in microgravity conditions and molecular level experiments have led man to

improve the quality of their health and safety. At the time the light changes from being an object of study to a technological tool, science has an explosion in their development potential. This phenomena promotes the creation of two new fields of study: bionanotechnology and biophotonic. Moving from the concept of scientific specialization to multidisciplinary science, represents the current challenge in the training of students and academics, who have in their hands the responsibility of the scientific and technological development of man. This emphasizes the importance in the academic proposal made by the Universidad Iberoamericana León, creating the first undergraduate program in Bionanotechnology.

**Palabras clave:** ciencia, tecnología, luz, biofotónica, bionanotecnología.

**Keywords:** science, technology, light, biophotonics, bionanotechnology.

Una de las herramientas fundamentales de la Física es la observación; sus leyes, teorías y planteamientos filosóficos se basan en el uso de ella. La capacidad de poder contemplar un fenómeno para su estudio y análisis es resumida en un postulado que al paso del tiempo y después de numerosas pruebas es convertida en ley. La observación es un pilar fundamental para la ciencia y lo es también de la Filosofía. Aristóteles explica que en el momento en que uno se percató de la existencia de un fenómeno, es entonces cuando inicia el proceso de investigación (Mardones, 2012). El hombre, a través de su capacidad sensorial y fundamentalmente de la vista, interpreta y analiza su entorno que, sumado a su experiencia, le permite crear conclusiones que se manifiestan como una contribución al conocimiento. Aristóteles refinó este proceso vinculando la sistematización y el ordenamiento de la razón, como el elemento que permite al intelecto generar conocimiento.

Una de las herramientas  
fundamentales de la  
Física es la observación;  
sus leyes, teorías  
y planteamientos  
filosóficos se basan en el  
uso de ella

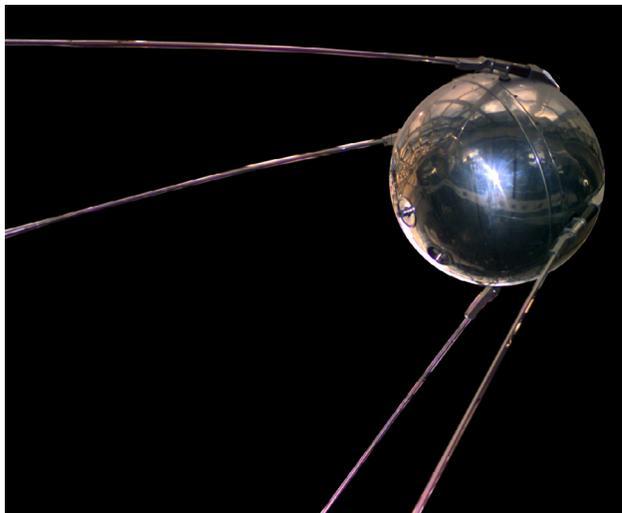
Sin embargo Aristóteles no ha sido el único que coloca a la observación como eje fundamental en los procesos de desarrollo y evolución. En nuestro territorio, los mayas basaban su visión cosmológica en la Vía Láctea, en particular en la Eclíptica (Rojas, 1985). Esto se refleja en su arquitectura, principalmente en el periodo clásico existe una notable tendencia en alinear las pirámides con el movimiento de los astros, como es el caso de Chichén-Itzá en donde se puede ver a Kukulcán bajar por los vértices de la pirámide cada solsticio (Ivan Sprajc, 2013). Además, actividades como la agricultura, la fertilidad y las celebraciones religiosas están regidas por fenómenos que ocurren en la bóveda celeste.

Este tipo relaciones entre lo superior y lo inferior, lo blanco y lo negro, trabajo y energía ya ha sido descrita en la filosofía Hermética e impactado en la ciencia (Wood, 1980). En particular si se retoma el principio de correspondencia, el cual enuncia “Como es Arriba es Abajo, Como es Abajo es Arriba” y utilizando un enfoque filosófico, se puede pensar que todo ha nacido de un solo origen,

una sola fuente de energía, un sólo pensamiento y un único momento en el tiempo; por tanto, aunque aparentemente se tengan diferentes conceptos o distintos estados de la materia, si se conoce en su mínimo detalle a uno de ellos, se tiene conocimiento de los otros.

Bajo este contexto, el hombre en su búsqueda de entender su origen y obtener un avance tecnológico, inició la conquista del espacio, en particular la llamada “Carrera espacial” (Román González and Vargas Cuentas, 2012). A partir de este momento, el hombre rebasó la frontera de nuestro planeta para poner en órbita el primer satélite artificial, el SPUTNIK I (NASA, 2016), lanzado en 1957 por la Unión Soviética, ver Figura 1. El principal objetivo de esa misión era demostrar la capacidad del hombre y en ese momento de una nación (Unión de Repúblicas Socialistas Soviéticas), para poder colocar un satélite artificial en órbita (Satellites, 2011). Tecnológicamente, el SPUTNIK cumplió con los siguientes objetivos:

- Obtener información referente a la densidad atmosférica.
- Probar los métodos de rastreo y seguimiento (ópticos y por radiofrecuencia), para un objeto en órbita.
- Determinación de los efectos de propagación de ondas de radiofrecuencia en la atmósfera.
- Verificar los principios de presurización utilizados en ese momento.



**Figura 1:** Sputnik I, primer satélite lanzado desde el cosmódromo de Baikonur el 4 de octubre de 1957. Formado por una esfera de aluminio con 58 cm de diámetro y antenas entre los 2.4 m y 2.9 m de longitud. Imagen cortesía de la NASA.

En nuestro territorio, los mayas basaban su visión cosmológica en la Vía Láctea, en particular en la Eclíptica

El programa de Bioingeniería busca desarrollar nuevas tecnologías que le permitan al hombre vivir más allá de nuestro planeta por periodos largos de tiempo.

Actualmente, la carrera espacial ha pasado de ser un enfrentamiento entre dos naciones, a un mecanismo para encontrar respuestas a diversas preguntas. Podemos citar misiones y programas como (NASAAMES, 2016a):

- Misión Kepler.
- Misión SOFIA.
- Misión BioSentinela.
- Programa de Biociencias.
- Programa de Bioingeniería.

El programa de Bioingeniería busca desarrollar nuevas tecnologías que le permitan al hombre vivir más allá de nuestro planeta (en particular de la órbita baja, es decir más allá de los 2000km sobre la superficie de la tierra) por periodos largos de tiempo.



**Figura 2:** Órbitas espaciales. La mayoría de los vuelos espaciales tripulados se llevan a cabo en órbita baja. Los satélites alrededor de la tierra se encuentran en órbita baja con velocidades promedio de 27 400 km/h. Imagen cortesía de NASA por Robert Simmon.

El programa de Biociencia se enfoca en investigación que permita la detección de radiaciones espaciales y el desarrollo de medidas que permitan preservar la salud humana en el espacio. Se puede hablar por ejemplo de la misión espacial WetLab-2, ver Figura 3.



**Figura 3:** Sistema WetLab-2, imagen cortesía de NASA por Dominic Hart

Los mecanismos celulares y moleculares asociados a problemas como la disminución en la masa corporal y la densidad ósea, alteraciones en el sistema inmune e incremento de virulencia bacteriana

Este dispositivo permite medir la expresión genética de diferentes especímenes (célula, microbio o tejido), para dar a conocer información referente a su adaptación y tipo de afectaciones que sufre por el vuelo espacial. En particular se registra el comportamiento de los mecanismos celulares y moleculares asociados a problemas como la disminución en la masa corporal y la densidad ósea, alteraciones en el sistema inmune e incremento de virulencia bacteriana (Facts, 2015]

Siendo preciso el término gravedad cero, tiene que ser nombrado de una mejor manera como microgravedad. El peso  $P$  de una persona puede definirse como la medida de la fuerza gravitatoria que actúa sobre el cuerpo. Utilizando la segunda ley de Newton  $\vec{P} = m\vec{g}$ , el valor de  $\vec{g}$  se define como  $\vec{g} = (GM/R^2)\vec{U}_r$ . En este caso  $G$  es la constante de Gravitación Universal,  $M$  es la masa del planeta que en este caso es la tierra,  $R$  es el radio del planeta (tierra) y  $\vec{U}_r$  es un vector unitario dirigido hacia el centro del planeta. Se puede observar que si el valor de  $R$  aumenta, el valor de  $\vec{g}$  disminuye y por tanto el peso  $P$  también lo haría. Entre más alejado se esté de la Tierra, menor es el valor de  $\vec{g}$  y por tanto nos encontramos con una microgravedad.

En condiciones de vuelo espacial, el peso de un hombre disminuye y por tanto la fuerza necesaria para mover su cuerpo, mantenerse de pie y efectuar actividades es menor a aquella que se requiere cuando se está en la tierra. Esto, como ya se mencionó, provoca pérdida de masa muscular y de densidad ósea (Jain and Yadav, 2009). Las condiciones de microgravedad permiten inducir de forma acelerada estados similares a la osteoporosis y atrofia muscular entre otras enfermedades.

Los datos de expresión génica revelarían el mecanismo celular que induce este tipo de degradaciones en el organismo y por tanto se podrían generar medidas de salud y medicamentos para la protección del ser humano a este tipo de enfermedades. En el contexto de México, una prueba utilizada para el estudio LAVOS en 2012 (Latin American Vertebral Osteoporosis Study) con una muestra de 406 pacientes mujeres mexicanas entre los 50 y 59 años, revela que el 19.2 % tendrían alguna fractura vertebral que se asocia con osteoporosis. El 37.25% tiene una pérdida en su estatura y que el 15% (en condiciones de peso normal) sufren pérdida de masa muscular (Clark et al., 2009). Esto permite predecir que justo en el año 2015 más de 50,000 mujeres de la población mexicana tendría una fractura de cadera asociada a la osteoporosis. Lo que implica un gasto aproximado \$3921.10 dólares por paciente hospitalizado en el Instituto Mexicano del Seguro Social para su rehabilitación, de los cuales \$660.50 dólares han sido presupuestados para la compra de una prótesis (Foundation, 2012). Esto resalta la importancia de los estudios que se efectuarían con el equipo WetLab-2 y su impacto en la salud humana.

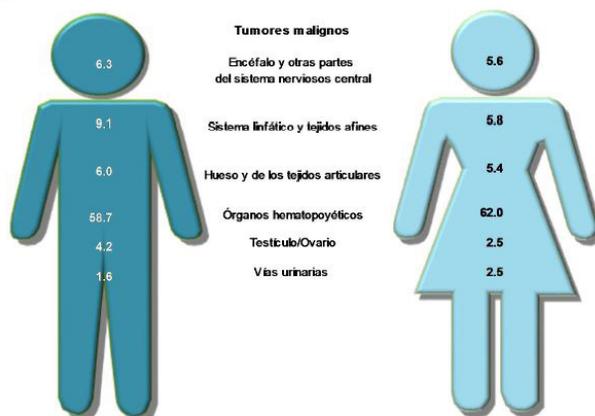
Las condiciones de microgravedad permiten inducir de forma acelerada estados similares a la osteoporosis y atrofia muscular entre otras enfermedades

Los cambios en la densidad muscular y ósea producidos por el vuelo espacial, se observan específicamente en piernas, cadera y columna vertebral. Una medida preventiva para la disminución

de estas afectaciones es el ejercicio, sin embargo no es suficiente. La misión espacial **Rodent Research-3** analiza los efectos al aplicar medicamentos de última generación, a ratones que son empleados como un modelo humano en búsqueda de prevenir estos desórdenes en la salud (NASA Research and Technology, 2016a).

Las enfermedades relacionadas con el sistema hematopoyético son un punto de atención para la investigación médica. El bazo, ganglio linfático, timo, hígado y médula ósea conforman el sistema hematopoyético; el cáncer asociado a cualquiera de estos órganos se situó como la principal causa de morbilidad hospitalaria en México durante el año 2013 para pacientes entre los 0-19 años de edad, el 62% se dio en las mujeres y 58.7% en los hombres. De acuerdo con los datos del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) en su informe 2016, se pueden observar en la Figura 4 los porcentajes de afectación por cáncer en hombres y mujeres, para una población entre 0 y los 19 años, que representa el sector más vulnerable no sólo por encontrarse en la primera etapa de desarrollo biológico, sino también por su fragilidad y valor como los miembros más jóvenes en la sociedad.

Porcentaje de morbilidad hospitalaria en población de 0 a 19 años por principales tumores malignos, según sexo 2013



En el instante que se identifica una falta de nutrientes suficientes para mantener a la colonia, esta cesa su crecimiento

Figura 4: Principales tumores malignos en una población de los 0-19 años en México.

Actualmente el cáncer es considerado como un problema mundial de salud y esto origina la necesidad de establecer la misión espacial **Micro-9** (NASA-AMES, 2016b). Este programa utiliza una población de células de levadura, particularmente *Saccharomyces Cerevisiae* comúnmente conocido como levadura de cerveza, para obtener información génica referente a la reacciona una célula a fenómenos y fuerzas físicas ambientales en microgravedad. La investigación se centra en conocer el comportamiento de células normales y anormales específicamente en el proceso de diferenciación celular (proceso por el cual una célula modifica su linaje genético para poder desarrollar una función específica en un organismo). Una características en el crecimiento de una colonia de células en condiciones normales, es que esta regula su crecimiento en función de las condiciones ambientales que le permitan subsistir y garantizar su existencia al paso del tiempo. En el instante que se identifica una falta de nutrientes suficientes para mantener a la colonia, esta cesa su crecimiento. En el caso de células cancerígenas, su crecimiento mantiene una taza constante de

aumento exista o no alimento que garantice la subsistencia de la colonia. Esto explica la particularidad invasiva de la enfermedad, en donde literalmente se alimenta del huésped al punto de terminar con él y con ella misma. El proceso característico de autorregulación en células sanas es bastante complejo y particularmente recibe el nombre de homeostasis, cuyo funcionamiento es organizado por varias enzimas entre ellas la AMPK (cinasa activada por monofosfato de adenina) quien entre sus funciones vigila el consumo de energía de una célula respecto a las condiciones que la rodean. Si la célula se encuentra en un entorno con una baja concentración de amoníaco, la AMPK es inhibida y por tanto el proceso de diferenciación celular cesa (Strmecki et al., 2005). Es precisamente este condicionamiento el objetivo principal de la misión espacial Micro-9 [NASA Research and Technology, 2016b], encargada de examinar variaciones en las concentraciones de amonio, su relación con las condiciones de microgravedad y la interacción con los factores de transcripción celular Msn4 (transcripción responsable para la respuesta ante el estrés) y Sfp1 (transcripción responsable para la absorción de Zinc). La comprensión sobre el comportamiento biológico de esta levadura permitiría el desarrollo de nuevas tecnologías para el beneficio de la salud del hombre, dado que sus propiedades en los mecanismos biológicos de trabajo se asemejan al del humano.

Cabe destacar que las misiones al espacio no siempre han inventado tecnología nueva, pero sí han sido impulsoras de ella. Podemos citar el caso de las **Imágenes por Resonancia Magnética (Magnetic Resonance Imaging MRI)**. En 1960 como una necesidad del programa espacial Apolo, la NASA en su laboratorio de Propulsión a Reacción implementó el procesamiento digital de imágenes. Así podría mejorar la calidad en las imágenes lunares y facilitar la vigilancia y aterrizaje de las naves Apolo sobre la superficie lunar (NASA JPL, 2016).

Los avances en medicina no están centrados únicamente en la prevención, también es importante avanzar en el mejoramiento de los tratamientos actuales, pues no se puede dejar de lado a todas aquellas personas que hoy en día padecen alguna enfermedad. Se ha observado en pacientes tratados mediante trasplante de médula ósea, el desarrollo de mucositis oral, ulceraciones e inclusive infamación de todo el tracto gastrointestinal. Esta condición bastante dolorosa impide masticar alimento e inclusive pasar saliva, lo que se traduce en una baja de peso considerable. La NASA mediante su programa **“NASA Space Product Development Program”** ubicado en Marshall Space Flight Center en Huntsville Alabama, junto con el **“Medical College of Wisconsin en Milwaukee”**, han probado tecnología lumínica originalmente desarrollada para experimentos con plantas en el espacio. Este tipo de luz que se encuentra en el rango del infrarrojo ha demostrado provocar el crecimiento acelerado de las células en tazas que van del 150% al 200%.

La comprensión sobre el comportamiento biológico de esta levadura permitiría el desarrollo de nuevas tecnologías para el beneficio de la salud del hombre

Para un grupo de pacientes que han recibido trasplante de médula ósea y que han sido tratados con la exposición de este tipo de luz, por un tiempo promedio de un minuto todos los días, sólo

el 53% de ellos desarrolló mucositis oral, cuando típicamente este efecto se observa en el 70% al 90% de los pacientes. El estudio reporta una disminución hasta de un 43% en las molestias para aquellos pacientes en los que se presenta la mucositis oral y que fueron tratados con esta terapia (Technologies, 2003). El dispositivo utilizado puede ser visto en la Figura 5.



El estudio reporta una disminución hasta de un 43% en las molestias para aquellos pacientes en los que se presenta la mucositis oral

**Figura 5:** La emisión de luz infrarroja puede producir disminución de dolor en pacientes que han sido tratados mediante trasplante de médula ósea. Cortesía de NASA/MSFC/Higginbotham.

A través de los experimentos e investigaciones comentados hasta ahora, se puede palpar cómo la conquista del espacio trae beneficios a la Tierra. En este periodo y a inicios del siglo XXI la combinación de luz con materiales **nanoestructurados** origina una nueva área de estudio, la **nanofotónica**. En primera instancia se define a un material nanoestructurado como aquel cuyo proceso de formación implica la manipulación molecular, para generar grupos de átomos acomodados en geometrías específicas, otorgando así propiedades únicas que no pueden encontrarse en un material convencional creado por la naturaleza. Para dar una idea del desarrollo tecnológico que implica la creación de estos materiales, imagine dividir a un milímetro en un millón de partes iguales. Esta es la dimensión a la cual ha llegado el hombre a manipular la materia. La tecnología surgida de la nanofotónica promete avances trascendentales en los circuitos integrados, computación, óptica, tecnología solar y medicina (SPIE, 2016).

Para entender mejor cómo es que la materia y la luz pueden interactuar entre sí, es necesario definir algunas propiedades de la luz. Es importante aclarar que no es el objetivo de este texto ahondar en los conceptos de Física Cuántica, lo que se busca es poder simplificar los conceptos, de tal manera que se pueda crear un panorama fenomenológico sobre lo que sucede alrededor de la interacción de la luz con la materia.

El primer concepto es **índice de refracción** ( $n$ ). El índice de refracción para un material o medio específico, es una medida que indica en cuanto ha disminuido la luz su velocidad al viajar a través

de él, matemáticamente se define como  $n = C / v$ . En este caso  $C$  representa la velocidad de la luz en el vacío y  $v$  la velocidad de la luz en el medio en que se propaga.

La luz puede ser interpretada como una onda, ver Figura 6, y específicamente una onda electromagnética. Esto supone una onda eléctrica y una onda magnética que oscilan y son ortogonales entre sí. Dos propiedades importantes de una onda electromagnética, son la **longitud de onda** ( $\lambda$ ) y la **frecuencia** ( $\nu$ ). Estos dos términos permiten clasificar la radiación electromagnética, dentro de la cual encontramos a la luz visible, ver Figura 7. Un movimiento oscilatorio o de vaivén se caracteriza por la presencia de crestas y valles (altos y bajos), ver Figura 8.

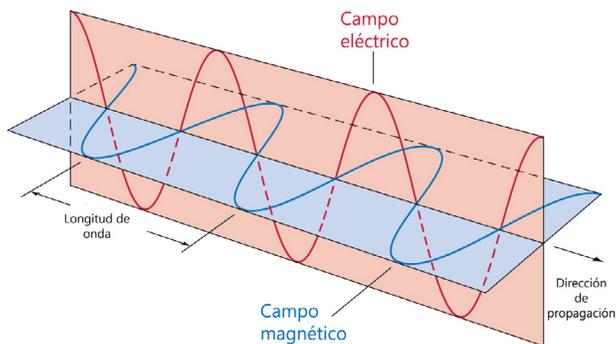


Figura 6: Representación de una onda electromagnética.

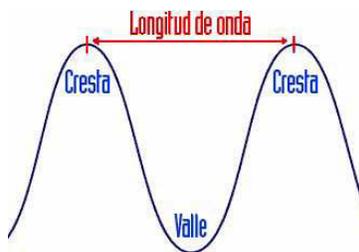


Figura 7: Onda de luz y dos de sus principales características, longitud de onda y frecuencia.

La longitud de onda ( $\lambda$ ) se define como la distancia que existe entre dos crestas o dos valles y se encuentra en la escala de los nanómetros

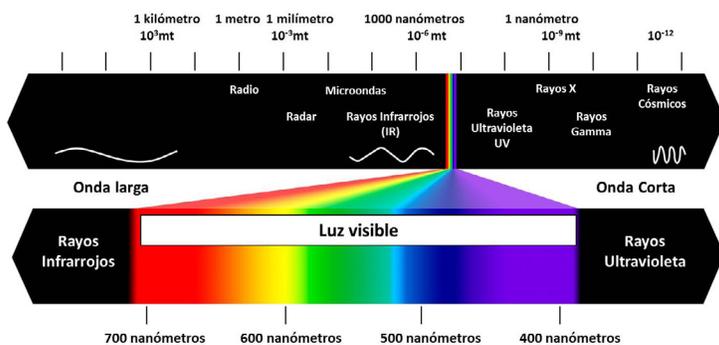


Figura 8: Onda de luz y dos de sus principales características, longitud de onda y frecuencia.

La longitud de onda ( $\lambda$ ) se define como la distancia que existe entre dos crestas o dos valles y se encuentra en la escala de los nanómetros. Cuando una onda de luz viaja, se mueve en su dirección de propagación mediante desplazamientos u oscilaciones. La frecuencia ( $\nu$ ) hace referencia a la rapidez con la que una onda de luz completa un ciclo, es decir, que tan rápido recorre la distancia que le hace ir de una cresta a otra, o de un valle a otro. Como se mencionó en párrafos anteriores, el espectro electromagnético, es una clasificación de la radiación electromagnética en función de la longitud de onda.

Cuando la ciencia comenzó a estudiar a la luz, varios pensadores como Pitágoras, Demócrito, René Descartes, Willebrord Snell, Johannes Kepler y Pierre de Fermat entre muchos, aportaron sus opiniones hasta llegar al siglo XVII con Newton. La conclusión final es que la luz puede ser vista como una partícula y como una onda, esto es lo que se conoce como **dualidad corpuscular** (Hecht, 1998). Esta relación onda-partícula permite ejemplificar cómo es que la luz al chocar con la superficie de un material se refleja, pues utilizando una similitud, la luz rebota como lo hace una pelota al caer contra el piso. Al conjunto de partículas que choca contra la superficie de un material se le conoce como **fotones**. Cada fotón tiene una energía ( $E$ ) asociada en función de la frecuencia asociada a la onda que representa. Esta energía se define como  $E=h\nu$ , donde  $h$  representa la constante de Planck y  $\nu$  la frecuencia de la onda.

La conclusión final es que la luz puede ser vista como una partícula y como una onda, esto es lo que se conoce como dualidad corpuscular

Retomando el ejemplo de la pelota que choca contra el piso, es importante conocer cuál es la velocidad de impacto del fotón contra una superficie y poder cuantificar la velocidad y posición del fotón instantes después del impacto, justo cuando es reflejado. Si se considera la ecuación para un movimiento con velocidad constante  $d = vt$ , donde  $d$  es distancia,  $v$  representa velocidad y  $t$  tiempo, se puede efectuar álgebra simple para obtener  $v = d/t$  o bien  $v = dt$ , utilizando el concepto de longitud de onda, esta última ecuación puede leerse como  $C = \lambda_0 \nu$ , donde  $C$  es la velocidad de la luz,  $\lambda_0$  es la longitud de onda en el vacío y  $\nu$  es la frecuencia de la onda que se propaga. Lo anterior puede asociarse nuevamente con el concepto de índice de refracción de la siguiente manera:  $n = C/v = \lambda_0 \nu / \lambda \nu = \lambda_0 / \lambda$ . Aquí sobresale que la frecuencia  $\nu$  de una onda al propagarse por un medio no cambia, pero la longitud de onda  $\lambda$  sí lo hace; entre más alto sea el valor del índice de refracción  $n$ , existe una mayor disminución en la longitud de onda  $\lambda$  de la onda electromagnética, es así que la velocidad de propagación de la luz en un medio es diferente para cada longitud de onda  $v = \lambda \nu$ . Pensando en luz blanca, caracterizada por ser la superposición de diferentes colores, al pasar por un medio distinto al aire se **dispersa** (se divide) en los diferentes colores que la componen. La dispersión se origina por las diferentes velocidades que tiene cada color asociado a su longitud de onda, al momento de propagarse por un medio y salir de este, ver Figura 9.



Esto quiere decir que la energía contenida en el fotón se divide y parte de ella es reflejada por el material y otra es refractada (absorbida) por el mismo

Figura 9: Dispersión de luz blanca, al ser reflejado por un disco compacto.

Finalmente y basado en el mismo ejemplo de un choque, al ángulo de incidencia con el cual un fotón choca contra una superficie, determina el ángulo con el que se propagaría inmediatamente después del choque (reflexión). Es importante aclarar que un rayo de luz que viaja en un medio con índice de refracción  $n_1$  y cambia a un segundo medio con índice de refracción  $n_2$ , no solo es reflejado también es refractado. Esto quiere decir que la energía contenida en el fotón se divide y parte de ella es reflejada por el material y otra es refractada (absorbida) por el mismo, ver Figura 10.

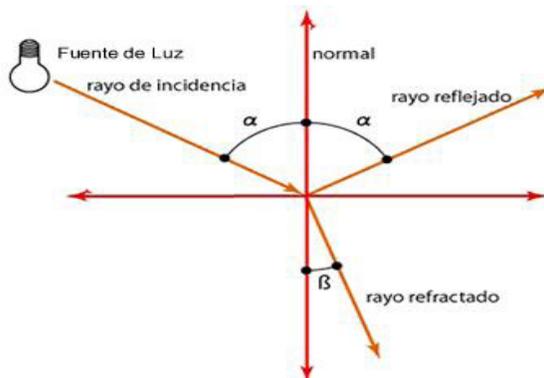
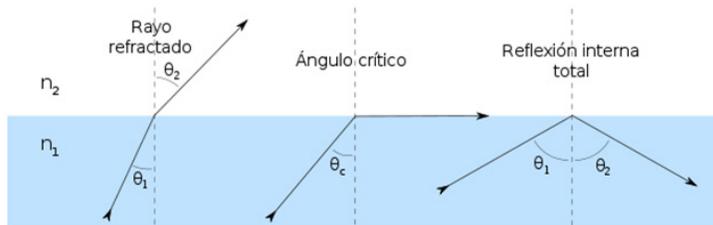


Figura 10: Fenómeno de reflexión y refracción al cual se sujeta la luz cuando pasa de un medio con índice de refracción  $n_1$  a otro con índice de refracción  $n_2$ . Imagen cortesía a de [somosfiscus.blogspot.mx](http://somosfiscus.blogspot.mx)

La condición para que se cumpla este efecto es  $n_1 < n_2$ . El matemático holandés Willebrord van Roijen Snell señaló a manera de ecuación  $n_1 \sin(\alpha) = n_2 \sin(\beta)$  lo que hoy se conoce como **Ley de Snell**. Un caso particular de esta ley es cuando  $n_1 > n_2$ , ya que entonces para que se cumpla la igualdad el ángulo  $\alpha$  tiene que ser menor al ángulo  $\beta$ , a tal grado que el rayo incidente puede reflejarse (idealmente) en su totalidad en el medio con mayor índice de refracción. Este fenómeno es llamado **reflexión total interna**. Cuando el valor de  $\beta = \pi/2$  el rayo es reflejado y se propaga paralelo a la superficie del medio con índice  $n_1$ , lo cual implica que  $\alpha = \sin^{-1}(n_1/n_2)$  y a este valor se le conoce como **ángulo crítico**. Cuando  $\alpha$  supera este valor y se sigue cumpliendo que  $n_1 > n_2$  la luz no se refracta y es totalmente reflejada, fenómeno que es aprovechado para crear **guías de ondas**. Es decir, un elemento tecnológico creado para confinar a una onda electromagnética

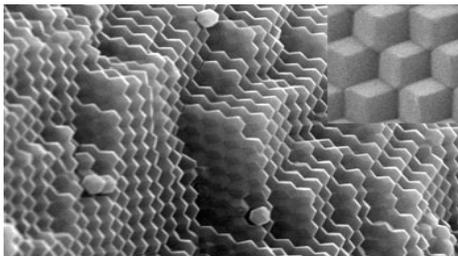
y forzar su propagación a través de él. Muchos están familiarizados con este término ya que es el principio dominante en una **fibra óptica**, ver Figura 11.



**Figura 11:** Fenómeno de reflexión total interna, imagen cortesía de © 2016 SEAS Estudios Superiores.

La luz ya no es únicamente un elemento a estudiar, ahora es una herramienta para el desarrollo de la investigación

Hasta el momento, se han esbozado los conceptos que facilitan una interpretación fenomenológica entre la luz y su interacción con los materiales. En razón de los avances científicos y tecnológicos la luz ya no es únicamente un elemento a estudiar, ahora es una herramienta para el desarrollo de la investigación. Una práctica que combina nanomateriales y luz es la **nanofotónica**, en donde podemos encontrar los **cristales fotónicos**; este elemento es una estructura con geometría periódica, fabricado con un material de alto índice de refracción, como por ejemplo el Silicio o Arseniuro de Galio, ver Figura 12. Existe una semejanza entre fibra óptica y cristal fotónico, pues esencialmente su función sería confinar la luz y hacer que esta se propague (viaje) a través de un medio en una dirección específica, así como para una longitud de onda determinada, las cuales son definidas por la forma geométrica y periódica, característica del cristal fotónico. La ventaja es que las pérdidas por el efecto de dispersión son mucho menores que en una fibra óptica tradicional. El desarrollo de nuevos material que contengan nanocavidades provoca modificaciones estructurales y facilita el control sobre la velocidad de propagación de la luz, favoreciendo la creación de memorias ópticas, pues la luz solo viaja en una dirección específica induciendo una orientación de reflexión única para un ángulo de incidencia único, además de producir materiales que mejoran los sistemas de comunicación, pues la velocidad de transmisión de datos sería muy cercana a la propia velocidad de la luz en el vacío, alrededor de 300,000Km/s.



**Figura 12:** Empaquetamiento dodecahedral de un nanocristal. Cortesía de © Dongyuan Zhao, 2007.

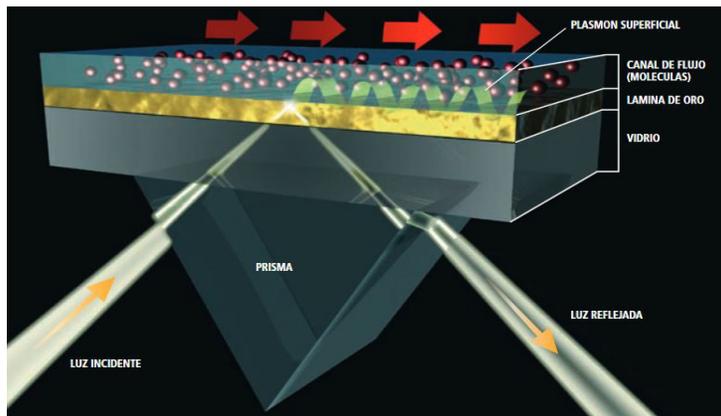
Este efecto se observa en metales cuya primordial característica es ser buen conductor de electricidad, ya que tiene numerosos electrones libres que pueden moverse a lo largo de las moléculas que lo forman

Un caso particular de la luz y su interacción con la materia es el **plasmón**. Este efecto se observa en metales cuya primordial característica es ser buen conductor de electricidad, ya que tiene numerosos electrones libres que pueden moverse a lo largo de las moléculas que lo forman. Basado en la teoría corpuscular un electrón (partícula) tiene asociada una onda, esta representa la forma en que un electrón se mueve a lo largo del material. Cuando un fotón, que no es más que una partícula con energía, choca con la superficie de un metal, transmite parte de su energía a los electrones libres y provoca su movimiento. Este movimiento corresponde al de una onda longitudinal (avanza y retrocede paralelo a la superficie del metal) y es lo que se conoce como plasmón. Es comprensible entender que la presencia de un plasmón está sujeta a cubrir una serie de condiciones. Un electrón cuyo estado inicial es el reposo (equilibrio), al ser excitado para que inicie su movimiento reaccionaría de tal manera que buscaría restituir su condición inicial. Este sistema terminaría por comportarse como un oscilador armónico (análogo a un péndulo), la frecuencia de oscilación está relacionada de manera proporcional a la energía cedida por el fotón, en función de su longitud de onda, así como a la energía absorbida por el electrón. Un fotón puede transmitir energía suficiente para liberar a un electrón de su órbita, así como entregar energía que le permita liberarse y tener movimiento libre.

Cuando la frecuencia de oscilación de un fotón coincide con la frecuencia de oscilación del plasmón (que está en función del tipo de material y estructura), se vería una disminución en la energía reflejada, cuando la energía de oscilación del fotón es menor a la frecuencia de oscilación del plasmón, el metal reflejaría toda la energía y cuando la frecuencia de oscilación de un fotón es superior a la energía de oscilación del plasmón el metal no podría ser capaz de reflejar la luz y se transmitirá al material. Materiales como el oro y plata en combinación con estructuras como por ejemplo nanopartículas, nanotubos y nanoestrellas son los que determinan la frecuencia de oscilación del plasmón, derivando en la característica particular de absorber, reflejar y oscilar para longitudes de onda específicas. En síntesis, un plasmón es la oscilación de electrones en la superficie de un metal, que se da al incidir la luz en él y cuyas amplitudes de oscilación están en la escala milimétrica (Alexander, 2007).

El plasmón es aprovechado para crear sensores de moléculas, ver Figura 13. Considere un sustrato metálico (oro) que es utilizado para crecer vidrio y formar un prisma, en función de las moléculas que circulen sobre el canal de flujo, se generaría un plasmón por la iluminación incidente (a un ángulo específico) y la luz reflejada por el metal tendría propiedades específicas en su intensidad e inclusive en su longitud de onda, el plasmón tendría una resonancia específica (amplitud de oscilación) pues el oro absorbería moléculas del materia que fluye sobre su superficie (Vidal and Moreno, 2008).

Este concepto de sensores tiene la posibilidad de analizar cadenas de ADN y cadenas híbridas (combinación de cadenas de ADN complementarias)



**Figura 13:** Diagrama esquemático de un sensor basado en plasmones. En función del material en el canal de flujo, la luz reflejada tendría propiedades específicas.

Aprovechar la luz para detectar y manipular material biológico, así como mejorar y facilitar el procesamiento de imágenes para el estudio de muestras biológicas.

Este concepto de sensores tiene la posibilidad de analizar cadenas de ADN y cadenas híbridas (combinación de cadenas de ADN complementarias), encontrando así información referente a evolución y expresión proteínica (Stefani, 2001). Retomando lo comentado en la primera parte de este documento, es claro entender cómo los avances tecnológicos en diferentes tareas de la ciencia se han dado gracias al estudio del macrouniverso, así como al estudio del microuniverso, cumpliendo así la aparente máxima: “como es arriba es abajo, como es abajo es arriba”. Justo en este punto es necesario aclarar que se han descrito aplicaciones en donde la luz interacciona con materiales inorgánicos, sin embargo a inicios del siglo XXI comenzaron a nacer nuevas áreas de estudio en donde la luz interacciona específicamente con material orgánico, dando origen a la **biofotónica** (IEEE-LEOS, 2012).

El objetivo particular de la biofotónica es aprovechar la luz para detectar y manipular material biológico, así como mejorar y facilitar el procesamiento de imágenes para el estudio de muestras biológicas. Por medio de la luz y sin necesidad de tocar físicamente una muestra que pueda destruir o modificar sus propiedades, se han tenido avances significativos en comprender el funcionamiento interno de células y tejidos, las interacciones a nivel molecular entre células y la comprensión en el desarrollo de enfermedades como cáncer y el Alzheimer (Popp, 2013). En esta nueva era científico-tecnológica también nace la **bionanotecnología**, centrada en la utilización de material biológico en combinación con la nanotecnología, enfocándose en la generación de conocimiento que puede ser aplicado a la medicina, industria cosmética, agropecuaria, farmacéutica entre muchas otras (Engineering and biotechnology Research Inst., 2014). La bionanotecnología tiene como objetivo el desarrollo de materiales que sean altamente compatible con los seres vivos, desde un elemento que tenga interacción directa con el interior de la célula, hasta aquel que pueda modificar la estructura de un tejido celular. La bionanotecnología se avoca a modificar la estructura molecular de un material, así como sintetizar nuevos elementos que sean estructuralmente biocompatibles. Además del desarrollo de máquinas moleculares que permitan efectuar modificaciones a la expresión génica, mediante la incorporación de componentes con estructuras específicas, como es el caso de un nanomaterial. Un problema tecnológico específico en donde se incorpora la bionanotecnología es la industria farmacéutica. Actualmente no sólo se quiere la eficacia de un medicamento, sino la

disminución y casi erradicación de efectos secundarios, además de una actuación específica en la tarea que necesite el fármaco. Tratamientos como la quimioterapia, utilizado en la lucha contra el cáncer, son altamente invasivos pues su efecto se extiende a células sanas en el cuerpo provocando pérdida de cabello, náuseas, etc. Gracias a la bionanotecnología se espera en un futuro que alrededor del 85% de medicamentos sean proteínas específicas, que se unan a la membrana de la célula afectada o dañada, generando una incompatibilidad biológica que impida la unión con una célula sana (UniversityOxford, 2016).

**Aprovechar la luz para detectar y manipular material biológico, así como mejorar y facilitar el procesamiento de imágenes para el estudio de muestras biológicas.**

La bionanotecnología se utiliza en terapia génica e inmunoterapia. La terapia génica significa utilizar un gen e introducir en él la sustancia activa que ayudaría a mejorar la salud. El gen se integra en el interior de la célula y es entonces que puede expresarse para hacer que una célula maligna se autodestruya, o para evitar que una enfermedad pueda expresarse y posteriormente manifestarse físicamente, originando un avance en la prevención de enfermedades hereditarias. Otro terreno de desarrollo para la bionanotecnología es la inmunoterapia, la cual consiste en la manipulación del sistema inmune para la mejora o supresión de una respuesta inmunológica. Actualmente se crean de manera artificial anticuerpos en el laboratorio, que son introducidos al cuerpo y que actúan en asociación con los anticuerpos producidos por el organismo para atacar una enfermedad (World-Chemicals, 2016). Es tan importante el campo de la biotecnología, que actualmente existen programas académicos internacionales en licenciatura y posgrado que se enfocan en la preparación de capital humano que tenga las capacidades de afrontar este tipo de retos tecnológicos.

Esta visión de innovación en la investigación multidisciplinaria e interdisciplinaria, motivó a la Universidad Iberoamericana León a crear una licenciatura enfocada específicamente a la bionanotecnología y ser la primera institución de educación superior en contar con esta licenciatura a nivel nacional (Universidad IberoamericanaLeón, 2010). Creada en 2011, esta licenciatura cuenta ya con la primera generación de egresados (diciembre 2015) y con un total de 61 alumnos inscritos (datos al 27 de junio de 2016). Esta licenciatura cuenta con una planta de profesores que en su mayoría tienen el grado académico de Doctor en Ciencias, con sus respectivas especialidades. Se mantienen colaboraciones en proyectos académicos con instituciones como: Centro de Investigaciones en Óptica A.C. (CIO), Universidad de Guanajuato División de Ciencias Naturales y Exactas, Universidad de Guanajuato División de Ingeniería, Instituto Politécnico Nacional Unidad Profesional Interdisciplinaria de Ingeniería Campus Guanajuato, Instituto Tecnológico de León y el Hospital Regional de Alta Especialidad del Bajío.

**La bionanotecnología se utiliza en terapia génica e inmunoterapia. La terapia génica significa utilizar un gen e introducir en él la sustancia activa que ayudaría a mejorar la salud**

Sumado a esto, los estudiantes mantienen experiencia profesional a través de prácticas en instituciones como: Centro de Investigación y de Estudios Avanzados (CINVESTAV), Centro de Investigaciones en Óptica (CIO), Instituto Mexicano del Seguro Social (IMSS), Unidad Profesional Interdisciplinaria de Ingeniería (UPIIG) del Instituto Politécnico Nacional (IPN) campus Guanajuato, empresa Nivea, Centro de Innovación Aplicada en Tecnologías Competitivas (CIATEC), Estrategias en Alimentos S.A. de C.V, Hospital General de México Dr. Eduardo Liceaga, T4 Oligo, Strain Biotech y Grupo Solena. Los trabajos donde los estudiantes de esta licenciatura han participado, se presentaron en congresos como:

- International Materials Research Congress 2016.
- Startup Workshop, Congreso Quorum 2016.
- Primera Reunión Mexicana de Ciencia y Tecnología de Terahertz 2015.
- International Materials Research Congress 2015.
- International Materials Research Congress 2014.

El futuro de esta licenciatura está ligado al avance científico y tecnológico. La unión de materiales orgánicos e inorgánicos para la creación de sensores, microprocesadores, fármacos, cosméticos y la manipulación de material genético, entre otras muchas posibilidades permite avanzar a la sociedad hacia un mejor entendimiento de su origen.

Como comentario final, el propósito de este artículo es presentar de manera muy breve algunos avances tecnológicos que ha logrado el hombre y cuyo impacto se espera ver transmitido a la sociedad en un tiempo próximo. La investigación multidisciplinaria es el futuro de la ciencia, a tal grado que se han creado programas académicos y especialidades que incorporan esta cualidad; por tanto, una nueva era en la educación superior comienza a desarrollarse para así poder satisfacer las nuevas exigencias que plantea el desarrollo tecnológico y científico de la humanidad.

---

## Referencias

Alexander, S. (2007). Plasmonics: Fundamentals and Applications. Springer.

Clark, P., ConsMolina, F., Deleze, M., Ragi, S., Haddock, L., Zanchetta, J. R., Jaller, J. J., Palermo, L., Talavera, J. O., Messina, D. O., MoralesTorres, J., Salmeron, J., Navarrete, A., Suarez, E., Pérez, C. M., and Cummings, S. R. (2009). The prevalence of radiographic vertebral fractures in latin american countries: the latin american vertebral osteoporosis study (lavos). *Osteoporosis International*, 20(2):275-282.

- Engineering, G. and biotechnology Research Inst. (2014). What is bionanotechnology?
- Facts, N. (2015). Nasa wetlab2.
- Foundation, I. O. (2012). México.
- Hecht, E. (1998). Optics. Addison Wesley, 4th edition.
- IEEE-LEOS (2012). What is biophotonics?
- Ivan Sprajc, P. F. S. N. (2013). Astronomía en la arquitectura de Chichén-Itzá: una reevaluación. Estudios de cultura Maya, 41(41).
- Jain, A. K. and Yadav, S. S. (2009). Bone health an investment.
- Mardones, J. M. (2012). *Filosofía de las ciencias humanas y sociales*. Editorial Anthropos.
- NASA (2016). *Nasa space science data coordinated archive*.
- NASA-AMES (2016a). *Ames research center*.
- NASA-AMES (2016b). *Ames research center, micro9 (spacex8)*.
- NASAJPL (2016). *Did NASA invent magnetic resonance imaging (mri)?*
- NASA Research and Technology (2016a). *Assessment of myostatin inhibition to prevent skeletal muscle atrophy and weakness in mice exposed to long duration spaceflight (rodent research-3-eli lilly)*.
- NASA Research and Technology (2016b). *Yeast colony survival in microgravity depends on ammonia mediated metabolic adaptation and cell differentiation (micro9)*.
- Popp, P. J. (2013). *Handbook of Biophotonics*. John Wiley and Sons.
- Rojas, A. V. (1985). *Nociones preliminares sobre cosmología maya*. *Anales de Antropología*, 22(1).
- Román González, A. and Vargas Cuentas, N. I. (2012). *Tecnología aeroespacial en el mundo*. HAL Id: hal-007421g8, 1(1).
- Satellites, N. E. (2011). Sputnik I.
- SPIE (2016). *Journal of nanophotonics*.
- Stefani, F. D. (2001). *Técnicas basadas en la resonancia de plasmones superficiales, detección y estudio de reacciones de hibridización de ADN en superficies*.

Strmecki, L., Greene, D. M., and Pears, C. J. (2005). Developmental decisions in dictyostelium discoideum. *Developmental Biology*, 284(1):25 -36.

Technologies, N.N. (2003). *Light emitting diodes bring relief to young cancer patients*.

Universidad Iberoamericana León (2010). *Ingeniería en bionanotecnología*.

University Oxford (2016). *Department of biochemistry*.

Vidal, F. J. G. and Moreno, L. M. (2008). *Plasmones superficiales*.

Wood, P.B. (1980). Scientific revolution hermeticism and the scientific revolution. Papers read at a Clark Library seminar, 9 march 1974. by Robert S. Westman and J. E. McGuire. *The British Journal for the History of Science*, 13(1).

World Chemicals (2016). *Bionanotechnology and its applications*.