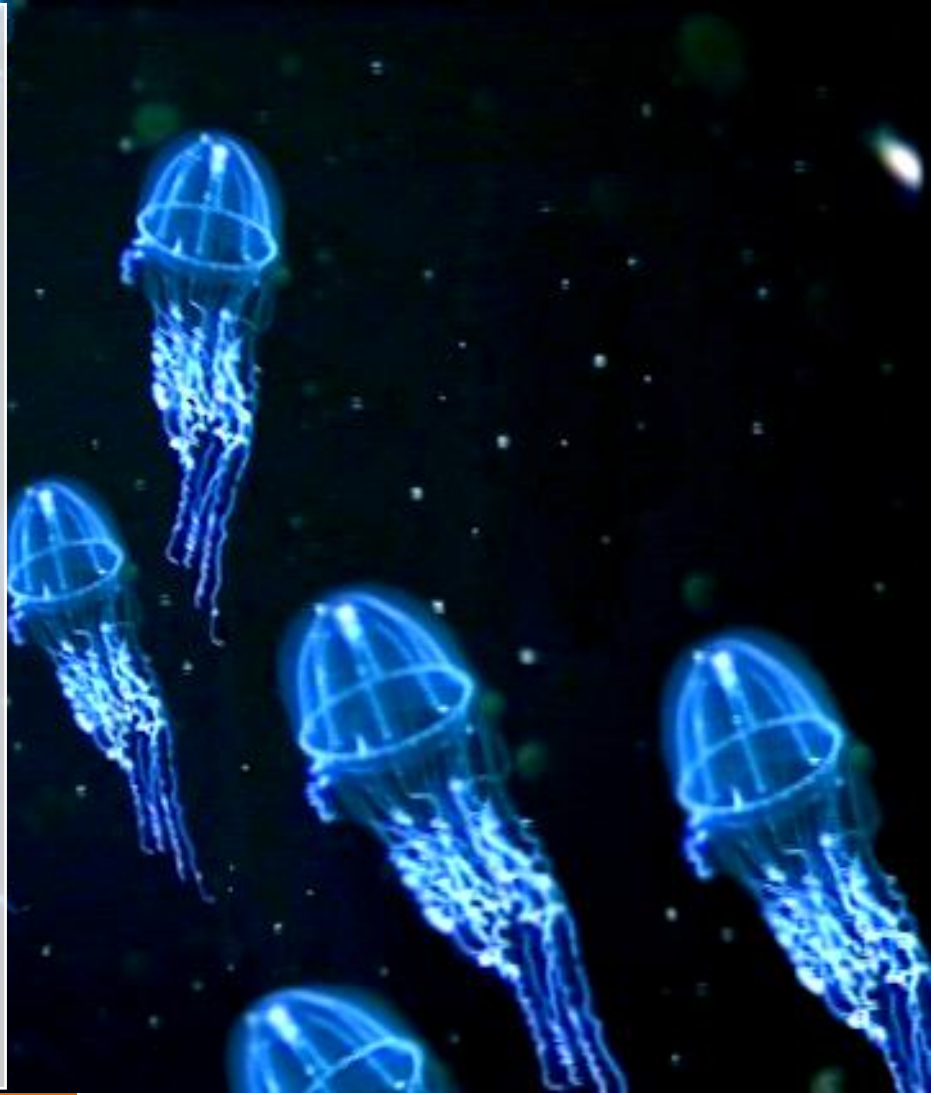


Quimioluminiscencia y Bioluminiscencia

Nátaly Luz Avellán

2013



Estudio de la Quimioluminiscencia y Bioluminiscencia; y el vínculo que poseen con el ser humano



Universidad de Cuenca
Escuela de Medicina
Ciclo de Nivelación
2013

CONTENIDOS

Justificación y Objetivos Generales	3
INTRODUCCIÓN	4
CAPÍTULO I: LUMINISCENCIA, UN CONCEPTO	5
QUIMIOLUMINISCENCIA	5
BIOLUMINISCENCIA	6
ELECTROLUMINISCENCIA	8
CAPÍTULO II: LUCES, QUÍMICA, ¡ACCIÓN!.....	9
REACCIÓN CON FOSFATO DE ADAMANTIL DIOXI-ETANO.....	10
REACCIÓN CON LUMINOL	11
CURIOSIDADES: BARRAS LUMINOSAS	13
LUCES, QUÍMICA, ¡ACCIÓN!: FLUORESCENCIA EN EL LABORATORIO	14
LA QUININA.....	14
PRIMER PLANTEAMIENTO EXPERIMENTAL.....	16
SEGUNDO PLANTEAMIENTO EXPERIMENTAL	17
CAPÍTULO III:GUSANOS DE LUZ	19
BIOLUMINISCENCIA: ¿CÓMO OCURRE?	20
CAPÍTULO IV: SOMOS BIOLUMINISCENTES	22
EL SISTEMA NERVIOSO Y LOS FOTONES	25
EL SISTEMA NERVIOSO	25
EL TEJIDO NERVIOSO	25
EL METABOLISMO CEREBRAL	25
IMPULSO NERVIOSO Y EMISIÓN ENERGÉTICA	26
NEURONAS BIOLUMINISCENTES	26
CAPÍTULO V:¿Y PARA QUÉ SIRVE?	28
LAS BAHIAS BIOLUMINISCENTES	31
CONCLUSIONES	33
BIBLIOGRAFÍA.....	34

PROBLEMÁTICA Y JUSTIFICACIÓN

La falta de conocimiento de fenómenos como la Quimio y Bio-luminiscencia, impide el desarrollo de nuevas tecnologías relacionadas con el área médica, y la masificación de las ya existentes; además de limitar los programas de protección a las especies luminiscentes y sus hábitats.

La quimioluminiscencia es un fenómeno relativamente frecuente en todo tipo de actividades que realizamos a diario y con la que nosotros, futuros estudiantes de medicina, nos veremos muy involucrados, ya que es útil en diversos exámenes inmunológicos y tomográficos, además de ser un útil marcador de partículas orgánicas, indicador de Ph, etc.

OBJETIVOS GENERALES

- ✚ Reconocer la utilidad del conocimiento referente a la quimioluminiscencia y sus posibles usos prácticos.
- ✚ Generar conciencia hacia las especies capaces de generar éste fenómeno y sus hábitats, para que sean preservados y considerados.

ACTIVIDADES GENERALES

- ✚ Establecer y describir los tipos de quimioluminiscencia y los procesos que se llevan a cabo para generarse.
- ✚ Identificar, mencionar y mostrar distintas especies luminiscentes.
- ✚ Demostrar en laboratorio reacciones capaces de generar luminiscencia.
- ✚ Relacionar las distintas áreas involucradas en este proyecto y orientarlas hacia el tema en cuestión.
- ✚ Dar a conocer a grandes rasgos los fenómenos bioluminiscentes de la naturaleza y su importancia.

INTRODUCCIÓN: LA QUIMIOLUMINISCENCIA

Las luciérnagas, las medusas y las barras luminosas: unas vuelan, otras viven en las profundidades del océano y las otras ofrecen entretenimiento en los clubs nocturnos. ¿Cuál es el vínculo? La respuesta la encontramos en algunas reacciones químicas intrigantes que producen luz.

La **Quimioluminiscencia** es el fenómeno de emisión de radiación electromagnética, ultravioleta o visible; que se observa cuando una *especie electrónicamente excitada*, producida por una reacción química, regresa a su estado fundamental. Cuando ésta reacción es enzimática, ocurre dentro de un organismo vivo o sistemas químicos derivados de éstos, se le denomina **Bioluminiscencia**.

➤ Un poco de Historia

Aunque fenómenos como éstos son aún poco difundidos y parecen más bien un resultado de la ciencia-ficción, en realidad el fenómeno de emisión de luz por moléculas orgánicas se ha conocido por más de cien años, desde que **Radzis Zenski** descubrió, en 1877, compuestos luminiscentes; e incluso antes, cuando en el año 1663, el científico alemán **Boyle** reconoció la existencia de la bioluminiscencia y la describió como “*luz fría*”.

En 1928, el químico alemán **H. O. Albrecht** descubrió las propiedades de un compuesto emisor de luz conocido como **Luminol**. Éste compuesto, al ser oxidado con *peróxido de hidrógeno* (H_2O_2) en un medio alcalino y en presencia de un catalizador, el Luminol emite fotones en forma de luz. Sin embargo, el potencial de éste descubrimiento no fue reconocido sino hasta 1947, cuando se aisló por primera vez la **Luciferasa**³ de una luciérnaga; en base a lo cual, en 1952, **Etrehler** y **Totter** publicaron una aplicación analítica específica de la Luciferasa para el **Adenosín Trifosfato** (ATP).

Hoy en día es usado en diversas pruebas de laboratorio clínico, como el **Radioinmunoanálisis (RIA)**, que es una técnica que se realiza usando isótopos radiactivos en muestras orgánicas como sangre. El RIA es ampliamente aplicado en el campo de la Endocrinología Clínica para cuantificar trazas de sustancias hormonales y no hormonales con mucha precisión. Las ventajas de la quimioluminiscencia incluyen su sensibilidad y rapidéz a la hora llevar a cabo un análisis clínico, simplicidad y seguridad, puesto que no deja residuos peligrosos.

“Desde tiempos remotos, las luces que emiten las luciérnagas durante las noches de verano encienden el corazón de los niños, la inspiración de los poetas y la curiosidad de los científicos. Los estudios de cómo se produce esa luminiscencia están ayudando a develar misterios del funcionamiento de las enzimas catalizadoras de las reacciones químicas de la vida; e incluso están iluminando el camino hacia nuevos tratamientos de enfermedades tales como el cáncer y el sida.”

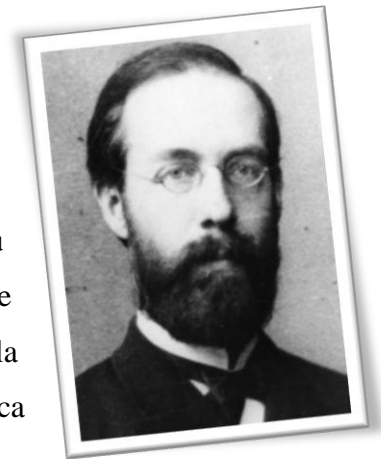
Vadim R., Viviani. Revista *Ciencia Hoy*,
Volumen 15 – Nº 90. Enero 2006

CAPÍTULO I

LUIMINISCENCIA: UN CONCEPTO

Si nos remontamos a las bases de la *Quimioluminiscencia*, nos damos cuenta que es indispensable entender, antes que nada, el concepto de *Luminiscencia*. Ésta puede ser entendida como la “propiedad de despedir luz sin elevación de temperatura y visible casi solo en la oscuridad, como la que se observa en las luciérnagas, en las maderas y en los pescados putrefactos, en minerales de uranio y en varios sulfuros metálicos.” (Diccionario de la Real Academia de la Lengua Española, XXII Edición).

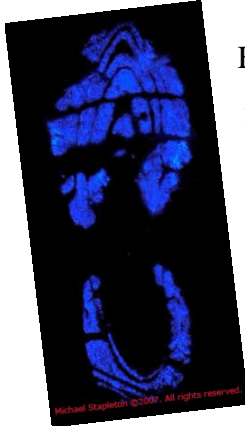
En la actualidad, sin embargo, se sabe que lo que originalmente sólo se conocía como Luminiscencia, puede ser originada por varios métodos; Puede ser causada por reacciones químicas, energía eléctrica, movimientos subatómicos, o el estrés en un cristal. Esto distingue la luminiscencia de la incandescencia, que es la luz emitida por una sustancia, como resultado de su calentamiento. Históricamente, la radiactividad fue se consideraba una forma de "*radio-luminiscencia*", aunque en la actualidad se considera un fenómeno aparte, ya que implica algo más que la radiación electromagnética. El término *Luminiscencia* fue introducido en 1888 por **Eilhard Wiedemann**.



Eilhard Wiedemann (Nacido el 1 de Agosto de 1852, en Berlín. Fallecido el 7 de Enero de 1928 en Erlangen)

Conociendo ya las diversas formas de producción de luminiscencia, se derivan varias sub-categorías, entre las cuales se hallan la **Quimioluminiscencia**, **Bioluminiscencia**, **Electroluminiscencia**, **Electroquimioluminiscencia**, **Fotoluminiscencia**, entre otros. Sin embargo, en el presente documento nos centraremos principalmente en la **Quimioluminiscencia** y **Bioluminiscencia**.

- I. **Quimioluminiscencia:** La Quimioluminiscencia es la reacción química que produce luz. Típicamente produce una emisión de unos pocos segundos (Gedesa, Quimioluminiscencia Amplificada pág. 2).



El ejemplo más conocido es la oxidación de los vapores del fósforo blanco al oxígeno que emite una luz pálida y que ha dado nombre a este elemento.

Una reacción ampliamente utilizada en química forense es la oxidación de **Luminol** con agua oxigenada en presencia de un catalizador de hierro. Esta reacción se utiliza por ejemplo en la detección de restos de sangre que sirve en este caso

Detección de restos orgánicos en una para catalizarla.

huella con Luminol.

Imagen extraída desde:

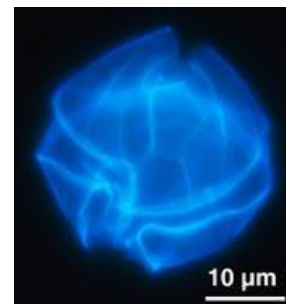
www.blogcurioso.com

II. **Bioluminiscencia:** Es la producción de luz de ciertos organismos vivos. El nombre es una palabra híbrida, originada del Griego *bios* que significa "vivo" y del Latín *lumen* que significa "luz"(Seliger, H. H. y W. D. McElroy. 1965, *Light: Physical and Biological Action. New York: Academic Press*). Es un fenómeno muy extendido en todos los niveles biológicos: bacterias, hongos, protistas unicelulares, celentéreos, gusanos, moluscos, cefalópodos, crustáceos, insectos, equinodermos, peces.

Puede hablarse de tres tipos principales de bioluminiscencia: la **intracelular**, la **extracelular** y la de **bacterias simbióticas**.

o **Bioluminiscencia intracelular**

La bioluminiscencia intracelular es generada por células especializadas del propio cuerpo de algunas especies pluricelulares o unicelulares (como *dinoflagelados*¹) y cuya luz se emite al exterior a través de la piel o se intensifica mediante lentes y materiales reflectantes como los cristales de urato de las luciérnagas o las placas de guanina de ciertos peces. Este tipo de luminiscencia es propia de muchas especies de calamar y de dinoflagelados, en especial del género *Protoperdinium*.



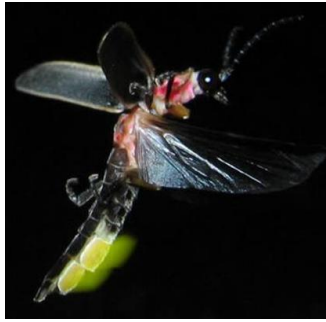
Dinoflagelado bioluminiscente

Imagen extraída desde:

<http://www.icm.csic.es/bio/images/>

¹**Dinoflagellata** o **dinoflagelado** es un extenso grupo de protistas flagelados . El nombre proviene del griego *dinos*, girar y del latín, *flagellum*, látigo. Estos microorganismos son unicelulares (aunque pueden formar colonias) y forman parte del fitoplancton marino y de agua dulce.

○ *Bioluminiscencia extracelular*



Lampyris noctiluca capaz de producir luminiscencia gracias a la Luciferina.

La bioluminiscencia extracelular se da a partir de la reacción entre la **luciferina**² y la **luciferasa**³ fuera del organismo. Una vez sintetizados, ambos componentes se almacenan en glándulas diferentes en la piel o bajo esta. La expulsión y consecuente mezcla de ambos reactivos en el exterior producen nubes luminosas. Este tipo de luminiscencia es común a bastantes crustáceos y algunos cefalópodos abisales.

○ *Simbiosis con bacterias luminiscentes*

“Este fenómeno se conoce sólo en animales marinos tales como los celentéreos, gusanos, moluscos, equinodermos y peces. Parece ser el fenómeno de luminiscencia de origen biológico más extendido en el reino animal. En diversos



Simbiosis entre bacterias luminiscentes y gusanos marinos (*Odontosyllis phosphorea*), en el lecho de mares tropicales y subtropicales.

lugares del cuerpo los animales disponen de pequeñas vejigas, comúnmente llamadas fotóforos, donde guardan bacterias luminiscentes. Algunas especies producen luz continua cuya intensidad puede ser neutralizada o

modulada mediante diversas estructuras especializadas. Normalmente los órganos

luminosos están conectados al sistema nervioso, lo que permite al animal controlar la emisión lumínica a voluntad.” (Seliger, 1965)

²**Luciferina:** pigmentos responsables de la emisión de luz (bioluminiscencia) en algunas bacterias, algas, hongos y animales.

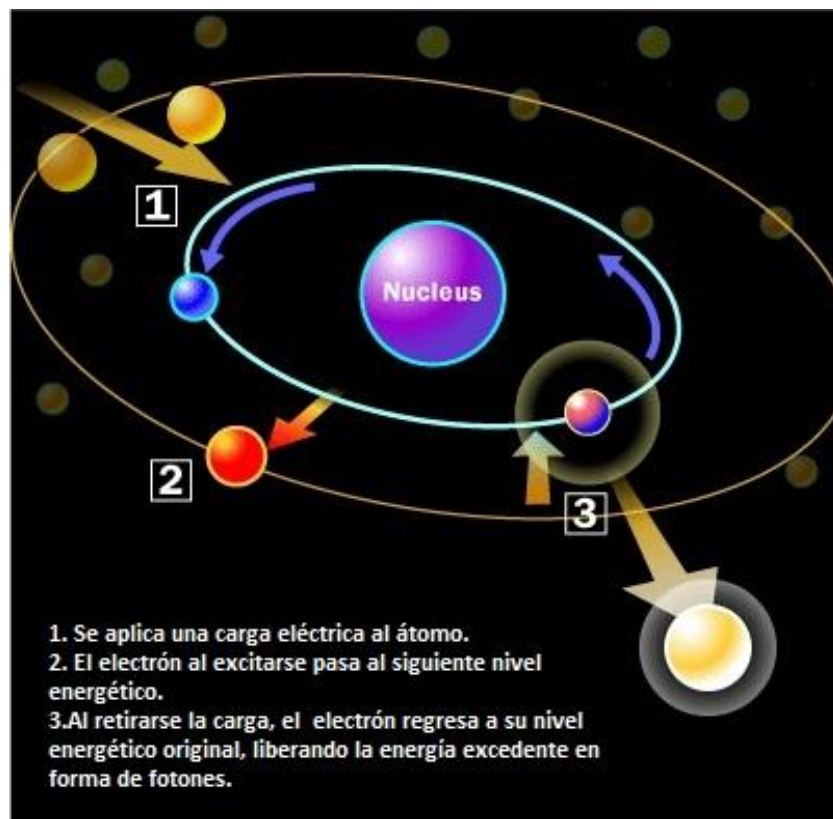
³**Luciferasa:** clase de enzimas oxidativas utilizados en bioluminiscencia.

La relación entre la bacteria *Vibrio fischeri* y el calamar sepiólido *Euprymna scolopes* es un sistema que sirve como modelo de simbiosis en el laboratorio. En su fase juvenil, el *Euprymna scolopes* posee una serie de apéndices recubiertos de mucosidad alrededor de su órgano luminoso con los que recoge bacterias *Vibrio fischeri* del entorno marino. Cuando la cantidad es suficiente, los apéndices mueren al tiempo que el órgano luminoso madura en un proceso fisiológico que se ha asociado con la aparición de la citotoxina traqueal.

III. **Electroquimioluminiscencia:** La electroquimioluminiscencia (ECL) es un proceso muy sensible en el que se generan especies reactivas en la superficie de un electrodo a partir de precursores estables, volviendo luego al estado basal mediante una reacción quimioluminiscente.

IV. **Electroluminiscencia:** La **Electroluminiscencia** es un fenómeno óptico y eléctrico en el cual un material emite luz en respuesta a una corriente eléctrica que fluye a través de él, o por causa de la fuerza de un campo eléctrico.

El diccionario lo define como “*Propiedad por la que las sustancias que contienen determinados componentes, como el fósforo, al colocarlas en un campo eléctrico, se excitan y emiten luz.*” (Diccionario Encilopédico Larrouse Vol.1, 2009).



(A la derecha) Esquema del funcionamiento de la electroluminiscencia a nivel atómico.

CAPÍTULO II: ¡LUCES, QUÍMICA, ACCIÓN! La reacción Quimioluminiscente

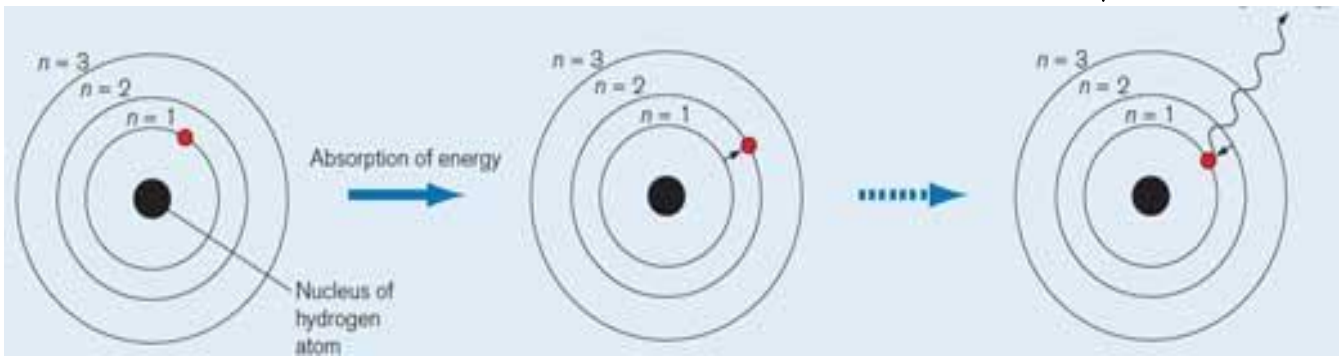
“La reacción Quimioluminiscente, generalmente es una reacción producida por una especie electrónicamente excitada; estado que puede ser generado por ruptura de enlaces intra- o intermolecular, por formación de enlaces o colisión e interacción de radicales, átomos o moléculas; o por transferencia de energía.” (Avellán, 2012).



La luminiscencia producida químicamente, o Quimioluminiscencia; es, como ya se ha dicho, la producción de luz generada por una reacción química. Sin embargo, existen varios mecanismos a partir de los cuales la luminiscencia es posible. Moléculas con diversas características estructurales pueden producir quimioluminiscencia como: [fosfato de adamantil dioxetano + fosfatasa alcalina], [luminol + peroxidasa], [ester de acridina + peroxidasa], [ácido nítrico + ozono] y otros más.



La forma en la que se produce es la siguiente:



Este esquema representa un átomo de hidrógeno en su estado fundamental. Un electrón se encuentra en órbita $n=1$. Cada capa tiene su propio nivel de energía.

Cuando el átomo de hidrógeno absorbe un cuanto de energía, es promovido a un estado energético superior (órbita $n=2$) y ahora está en un estado excitado (alta energía).

El electrón cae a la posición original en el estado fundamental (órbita $n=1$). En el proceso, un paquete de energía (un fotón) es liberado en forma de radiación electromagnética. La longitud de onda depende de la cantidad de energía. Si la longitud de onda está dentro del rango de luz visible, la transición de electrones se percibe como la luz de un color particular.

La emisión de la luz producida varía mucho de un compuesto a otro, y puede ir desde rápidos “*flashes*” luminosos –producidos por la oxidación de **esteres** –, hasta una emisión mucho más lenta al utilizar derivados del **dioxietano**, como el **fosfato de adamantil dioxietano**⁴, que prolonga su emisión lumínica hasta más de una hora. Cuando se utiliza el sustrato de dicho compuesto, este es **desfosforilado**⁵ en presencia de la **fosfatasa alcalina**⁶ formando un anión intermediario emisor de fotones. La emisión de fotones es detectada por un **luminómetro**.

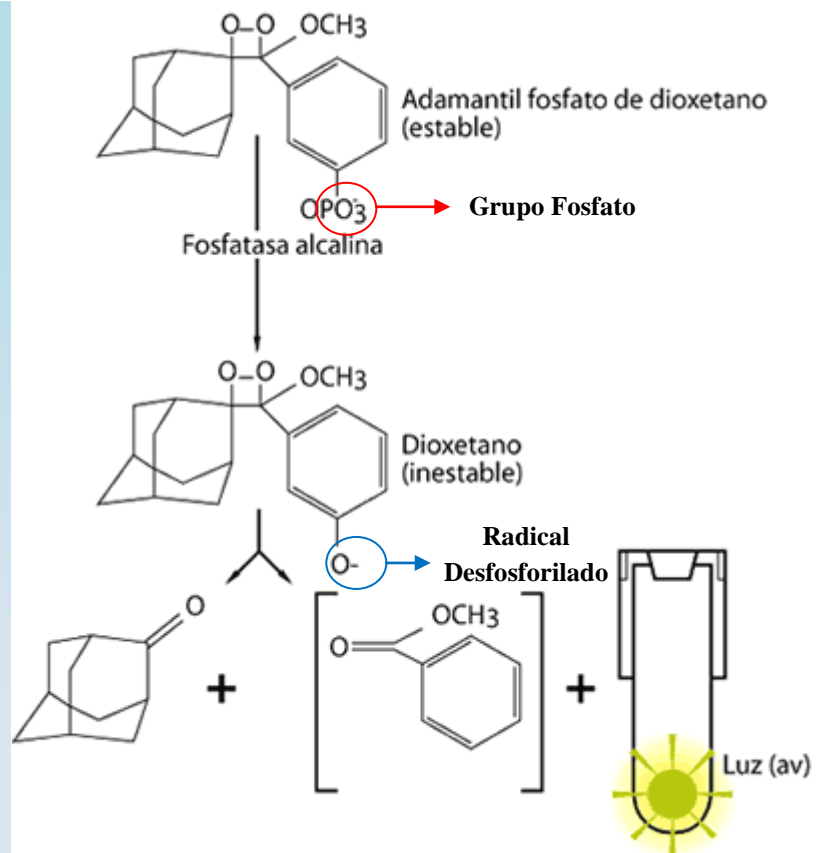
La desfosforilación del **fosfato de adamantil dioxietano** puede esquematizarse como se muestra a continuación:

⁴ Compuesto orgánico utilizado en pruebas inmunológicas de laboratorio.

⁵ **Desfosforilación**: proceso de remover grupos fosfato de un compuesto orgánico mediante hidrólisis.

⁶ La **fosfatasa alcalina (ALP)** es una enzima responsable de eliminar grupos de fosfatos de varios tipos de moléculas como nucleótidos, proteínas y alcaloides.

En este caso, el *adamantil fosfato de dioxetano* (o *fosfato de adamantil dioxetano*) se encuentra químicamente estable. Pero, al entrar en contacto con la *fosfatasa alcalina*, es atacado por ésta y desfosforilado; generando así un compuesto inestable, derivado del *dioxetano*. Debido a la inestabilidad del compuesto, éste se desintegra, generando otros dos nuevos compuestos estables, y liberando energía en forma lumínica en el proceso.

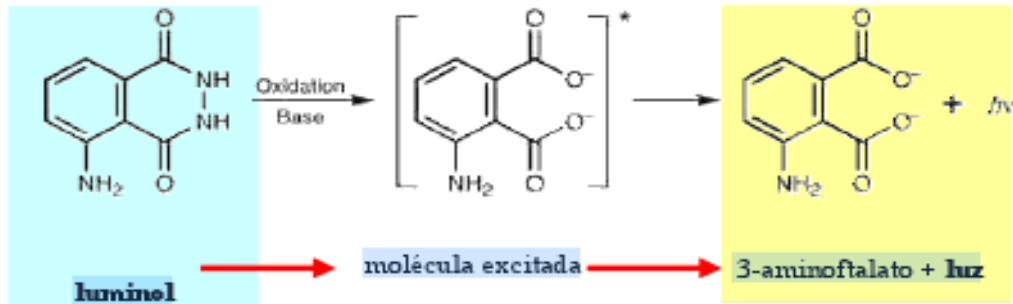


Por otra parte, al llevarse a cabo una reacción luminiscente utilizando Luminol, éste debe hacerse reaccionar con un **oxidante**, comúnmente el *peróxido de hidrógeno* (agua oxigenada). El **Luminol**⁷ posee la capacidad de mostrar por medio de luz visible cuando es oxidado. Por ello es una herramienta muy utilizada en la investigación forense, ya que puede revelar en disolución, con un oxidante, hasta los restos más ínfimos de sangre. Las reacciones de Luminol requieren un catalizador. En el caso de la sangre, el hierro de la hemoglobina es un poderoso catalizador, pero también pueden ser catalizadas por sustancias como el Cobalto o el Cobre.

La liberación de un fotón de luz de una molécula de Luminol es un proceso con varias etapas bastante complejo. En una solución básica (alcalina), el Luminol está en equilibrio. Cuando el Peróxido de Hidrógeno lo oxida, el Compuesto Luminol pierde Hidrógenos y gana Oxígenos, resultando en un compuesto llamado 3-Aminoftalato en


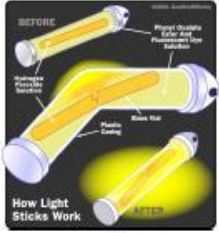


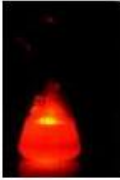
⁷ Es una sustancia química que exhibe luminiscencia al mezclarse con un agente oxidante adecuado. Es muy utilizado en las ciencias forenses, puesto que reacciona al contacto con sustancias como la sangre, emitiendo luz visible.

estado excitado, que se caracteriza por ser sumamente inestable. Debido a esto, los electrones en los átomos de oxígeno son obligados a cambiar de posición a un orbital superior, y vuelven rápidamente a su estado fundamental, emitiendo el cuanto de energía sobrante en forma de luz visible.



Existen numerosos compuestos que generan emisión quimioluminiscente siendo expuestos a oxidación. A continuación se presentan varios ejemplos, incluyendo algunos ya revisados.

Reacciones QL

	Reactivos (A)	Oxidantes (B)	
	Luminol, Isoluminol	H_2O_2 , O_2 , MnO_4^- , I_2 , ClO^-	
	Ésteres de Acridinio: Lucigenina	H_2O_2 , O_2	
	Lofina	H_2O_2	
	Peroxióxalatos: TCPO^a, DNPO^b	H_2O_2 , aminas, fenoles	
	Rodamina, uranina	MnO^+ , ClO^- , IO_4^- , Ce^{4+}	
	Pirogalol	H_2O_2	
	$Ru(bpy)_3^{2+}$	Ce^{4+} , aminas alifáticas, $C_2O_4^{2-}$	

DATOS CURIOSOS

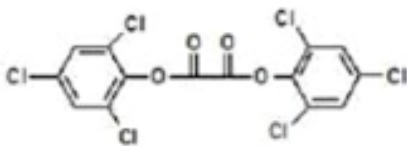
Barras Luminiscentes

Las barras luminosas tienen un tubo de plástico que contiene una mezcla de **oxalato de difenilo** y colorante. En el interior del tubo de plástico hay un pequeño tubo de vidrio que contiene **peróxido de hidrógeno**.

Cuando el tubo exterior de plástico es doblado, el tubo de cristal interior se rompe, liberando el peróxido de hidrógeno e iniciando una reacción química que produce luz. Cuando el **oxalato de difenilo** reacciona con el peróxido de hidrógeno (H_2O_2), es oxidado para dar **fenol** y **peróxido cíclico**, el peróxido reacciona con una molécula de colorante para dar dos moléculas de **dióxido de carbono** (CO_2) y en el proceso, un electrón en la molécula de colorante se promueve a un estado excitado.

Cuando el tinte excitado vuelve a su estado fundamental, un fotón de luz se libera. La reacción depende del pH. Cuando la solución es ligeramente alcalina, la reacción produce una luz más brillante.

LA REACCIÓN



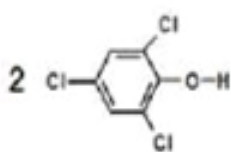
Ácido Oxálico di-(2,4,6-Tricloro-fenil) Ester
(TCPO)



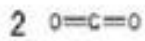
Peróxido de Hidrógeno



Colorante
Fluorescente



2,4,6-Tricloro-Fenol



Colorante
Fluorescente
Cargado
Negativamente

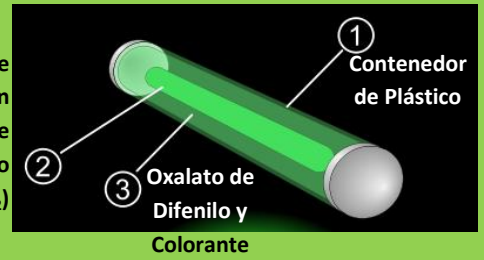


Colorante
Fluorescente
Excitado

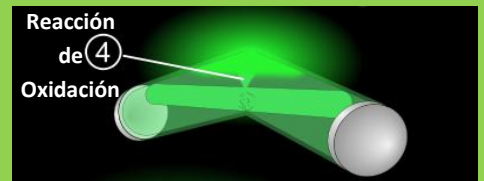
Luz (libera la energía del electrón excitado)

Colorante
Fluorescente

② Cápsula de Vidrio con Peróxido de Hidrógeno (H_2O_2)



④ Reacción de Oxidación



⑤

Emisión de Luz



LUCES, QUÍMICA, ¡ACCIÓN!: FLUORESCENCIA EN EL LABORATORIO

Los métodos luminiscentes que hemos estudiado hasta ahora, aunque no dejan de ser interesantes, son relativamente difíciles de realizar y comprobar por nosotros mismos en casa o un laboratorio. Sin embargo, existen procesos más fáciles de estudiar y llevar a cabo. Uno de ellos es la Fluorescencia generada por un compuesto llamado **Quinina**.

La Quinina es una sustancia que se adiciona a las bebidas carbónicas, especialmente al agua tónica. Se trata de un alcaloide derivado de la corteza del árbol de la quina (género *Cinchona*).

La quinina es un **antipirético**⁸ eficaz y se usa para reducir la fiebre en

muchas enfermedades. Fue el único remedio conocido para la malaria⁹ hasta el desarrollo, en los últimos años, de fármacos sintéticos. Se cree que la eficacia de la quinina fue probada en Perú por los misioneros jesuitas, quienes la introdujeron en Europa alrededor de 1640. (Laboratorio de Química II, 2010)

La quinina se emplea como patrón en **espectroscopía de fluorescencia**¹⁰ debido a que presenta un elevado rendimiento cuántico de emisión. Por otra parte, como ya se ha mencionado, se utiliza como aditivo en **bebidas carbónicas** como el agua tónica, a la cual confiere ese típico sabor amargo. En el



Flor de la *Cinchona Pubescens* (**Quina Roja**), de la cual se extrae la Quinina

⁸ Agente que disminuye la fiebre

⁹ Es una enfermedad que afecta a los glóbulos rojos de la sangre. Es causada por un parásito que se transmite de persona a persona por la picadura del mosquito *Anopheles*.

¹⁰ es un tipo de espectroscopia electromagnética, la cual analiza la fluorescencia de una muestra.

agua tónica comercial, la quinina está presente en una concentración comprendida entre 25-80 ppm¹¹. El control de este aditivo resulta de gran importancia, dada su toxicidad, catalogada como dosis mínima letal en ratas de 500 mg/kg de peso. La cantidad de quinina presente en estas muestras puede cuantificarse empleando un método fluorescente.

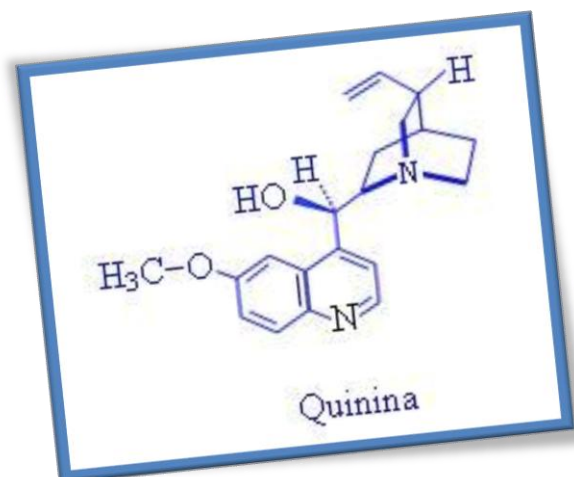
El Experimento

En el planteamiento experimental que se presentará a continuación, el objetivo es obtener luminiscencia de color azul.

El color azul, por supuesto, proviene de la Quinina, brillando por el proceso de fluorescencia.

En este caso particular, expondremos la muestra a luz UV (Ultra Violeta)¹² –el componente invisible de la luz solar que produce los bronceados y las clásicas quemaduras veraniegas en la piel, debido a la prolongada exposición al sol.

La estructura de la molécula de la quinina le permite “absorber” la energía de ésta luz invisible e inmediatamente irradiar el excedente de ésta misma energía en forma de luz azul.



Molécula de Quinina, o
(6-metoxi-quinolin-4-il)-5(vinil-1-aza-biciclo [2, 2, 2] oct-2-il) –metanol
en su nomenclatura IUPAC



¹¹ **ppm** (Partes por Millón) es la unidad de medida con la que se evalúa la concentración. Se refiere a la cantidad de unidades de la sustancia (agente, etc.) que hay por cada millón de unidades del conjunto. Por ejemplo en un millón de granos de arroz, si se pintara uno de negro, este grano representaría una (1) parte por millón.

¹² La "luz" ultravioleta (UV) es un tipo de radiación electromagnética que tiene una longitud de onda más corta que la de la luz visible.

PRIMER PLANTEAMIENTO EXPERIMENTAL

Es necesario aclarar que la solución resultante puede (y va a) resultar venenosa, por lo cual, a pesar de ser preparada con gaseosa, no debe ser ingerida. El objetivo es generar un compuesto fluorescente y explicar, de manera práctica, la generación de luminiscencia artificial.

PROCEDIMIENTO:

- Disponer de la gaseosa en un vaso de precipitado. La gaseosa debe contener colorante y

cafeína. Para efecto del proceso experimental, utilizaremos una lata de *Ginger Ale* “Canada Dry”.

- Se agrega el *Bicarbonato* y finalmente el *Peróxido de Hidrógeno*.
- Para iniciar la reacción, agitar enérgicamente haciendo uso de un agitador magnético o similar.
- Finalmente, exponer la solución a la luz Ultravioleta y observar.



y por qué?

250mL de Gaseosa
1 cucharadita de
Bicarbonato
3 cucharaditas de
Peróxido de
Hidrógeno
Linterna de luz

expuesta a la luz ultravioleta, se torna **fluorescente**.

SEGUNDO PLANTEAMIENTO EXPERIMENTAL

Ya hemos visto una manera de general luminiscencia de manera sencilla, utilizando luz UV y reactivos fácilmente obtenibles. Sin embargo, existen varios métodos que igualmente producen fluorescencia.

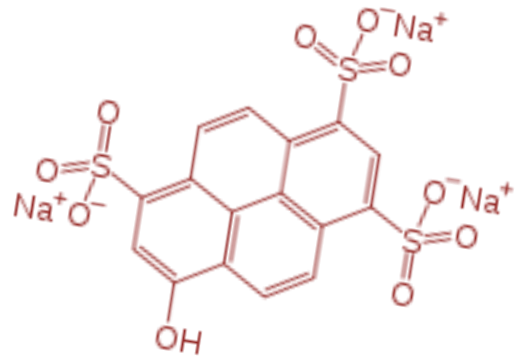
El compuesto que usaremos a continuación se denomina *Pyranine* (*Piranina*) y se encuentra en los resaltadores comunes, en especial los de color amarillo.

¿Qué es Pyranine?

La **Pyranine** o **Piranina**, es un compuesto **hidrofílico**¹³ y un tinte fluorescente sensible al Ph, perteneciente al grupo de químicos conocidos como *Aril-sulfonatos*.

Tiene aplicaciones que van desde un simple agente colorante, hasta un marcador biológico, un reactivo de detección óptica y un indicador de Ph. Un ejemplo de tales propiedades podría ser la medición del Ph intracelular, en la cual se utiliza este compuesto.

La **Pyranine**, como ya se ha dicho, es fácil de encontrar en productos comunes como resaltadores escolares y jabones.



Molécula de **Pyranine**, o *Tri-sodio 8-hidroxipireno-1, 3, 6-trisulfonato* en su nomenclatura **IUPAC**, o conocido también de manera común como **Solvente Verde número 7**

¹³ Dícese del compuesto, reactivo, sustrato o soluto en general que es soluble en agua.

El Experimento

Cabe destacar que éste compuesto también puede resultar venenosa, por lo cual, a pesar de que el resaltador no sea tóxico según su etiqueta, el compuesto resultante de ésta demostración experimental no debe ser ingerido bajo ningún concepto.

PROCEDIMIENTO:

- Disponer el agua en un recipiente transparente.
- Abrir el rotulador o resaltador amarillo, para dejar al

descubierto el tubo de tinta en el interior

- Extraer el Tubo y sumergirlo en el recipiente con agua. En este paso se puede dejar durante algunas horas el tubo, o se puede simplemente exprimir con los dedos para obtener un resultado más rápido.
- Cuando el agua esté teñida con el tinte amarillo, someter la solución a luz ultravioleta y observar



¿Con qué y por qué? ¿Con qué

1 Contenedor de Vidrio
1 Rotulador Amarillo
500-1000 ML de Agua

¿QUÉ PASA?

El resaltador amarillo contiene Pyranine, sustancia fotosensible que absorbe las ondas lumínicas de la luz ultravioleta y libera el exceso de energía en forma de luz visible. **¿QUÉ PASA?**

El agua tónica (*Ginger Ale Canada Dry*) contiene una sustancia llamada quinina, que al ser

CAPÍTULO III: GUSANOS DE LUZ

La Bio-quimioluminiscencia

Se conoce como **bioluminiscencia** a la producción de luz de ciertos organismos vivos. El nombre es una palabra híbrida, originada del Griego *bios* que significa "vivo" y del Latín *lumen* que significa "luz". Es un fenómeno muy extendido en todos los niveles biológicos.



¿Alguna vez has caminado a lo largo de una playa de noche y ha visto destellos de luz alrededor de sus pies? ¿O has estado en el campo por la noche y has visto las luciérnagas revoloteando? Estos son ejemplos de **Bioluminiscencia** y alrededor del 90% de la vida de aguas profundas también presentan este extraño fenómeno. Muchos organismos han evolucionado para producir luz, porque tiene muchas funciones útiles. Resplandecer puede ser utilizado como un señuelo para atrapar a sus presas, como camuflaje o para atraer a potenciales parejas. Algunas bacterias incluso usan la bioluminiscencia para comunicarse.

La bioluminiscencia es un fenómeno poco conocido, pero no poco común en la naturaleza. Desde bacterias, algas e insectos, hasta animales grandes y pequeños son capaces de producir luz de manera natural. Se sabe, como ya se ha dicho, que cerca del 90% de los seres que habitan la porción media y abisal del océano son capaces de producir

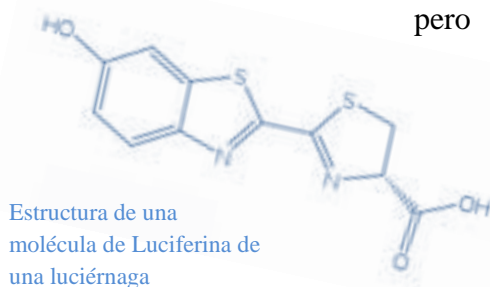
bioluminiscencia.

Hongos resplandecientes, medusas que emiten resplandor rojo para atraer presas, calamares de luz cambiante, la sorprendente y casi desconocida fauna abisal; desde las conocidas luciérnagas, hasta seres tan poco popularizados y a la vez tan “a la vista” como el Plancton Dinoflagellata, responsable de las bahías bioluminiscentes; son algunos ejemplos claros de la abundancia de especies involucradas en este fenómeno.

BIOLUMINISCENCIA ¿CÓMO OCURRE?

Para que ésta reacción química ocurra en los seres vivos, es necesaria la presencia de una proteína llamada **Luciferina**, la enzima catalizadora **Luciferasa**, oxígeno molecular y **ATP** (*Adenosín Trifosfato*), que provee la energía necesaria para que se lleve a cabo el proceso. La sustancia producto se denomina **Oxiluciferina**.

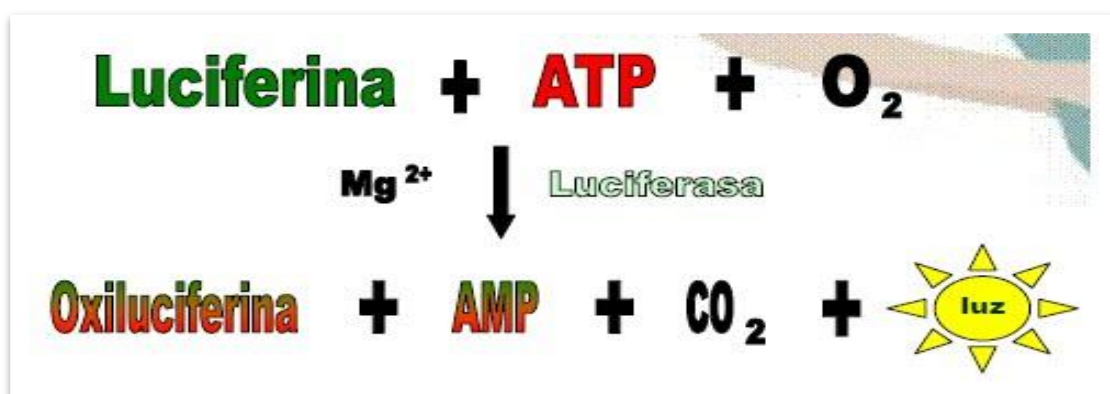
La estructura de las moléculas que producen luz varía de especie a especie, pero todos ellos genéricamente se denominan



Luciferinas. La estructura de la Luciferina de la luciérnaga se muestra a la izquierda. Cuando las luciérnagas brillan, la luciferina se oxida para producir un complejo excitado, que vuelve a caer al estado fundamental,

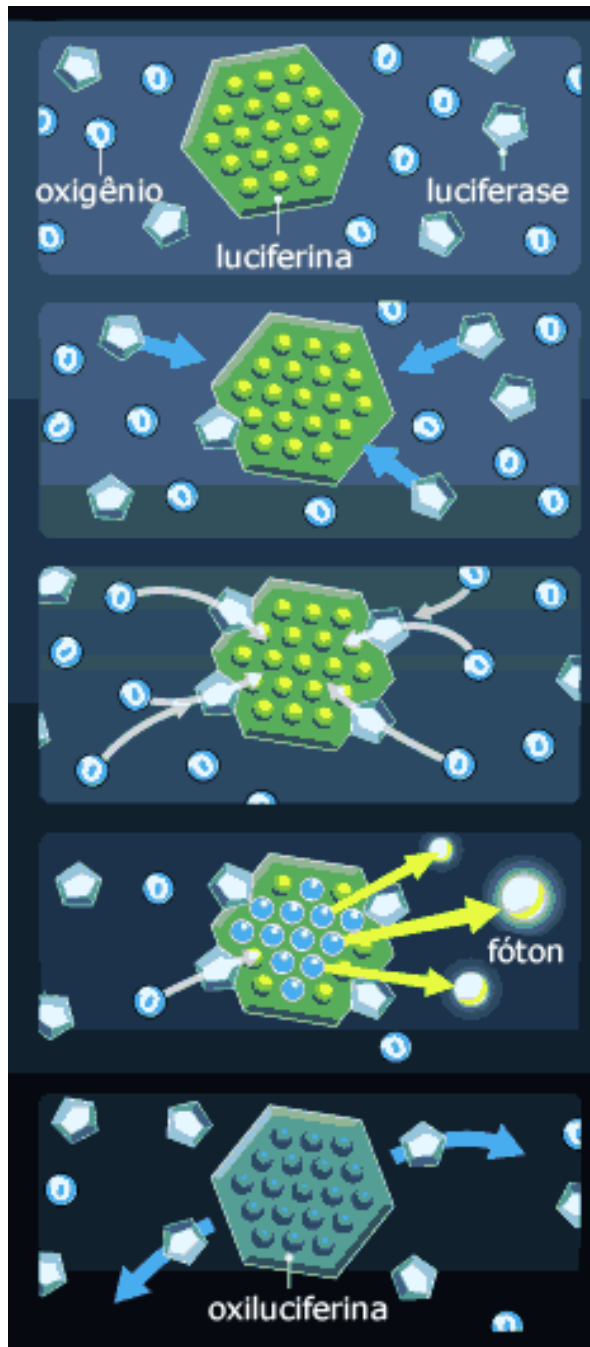
liberando un fotón de luz, al igual que la reacción quimioluminiscente del Luminol descrita en el Capítulo II (ver página 11). Sin embargo, las luciérnagas no utilizan *peróxido de hidrógeno* ni *hexacianoferrato potásico (III)*¹⁴ para la oxidación de la Luciferina, sino que usan el oxígeno molecular y un enzima llamada **Luciferasa** (las Luciferasas varían de una especie a otra).

La reacción luminiscente generada por la Luciferina, vista de manera general, funciona de la siguiente manera:



¹⁴ Catalizador para reacciones luminiscentes con Luminol

Y visto más de cerca, el proceso funciona así:



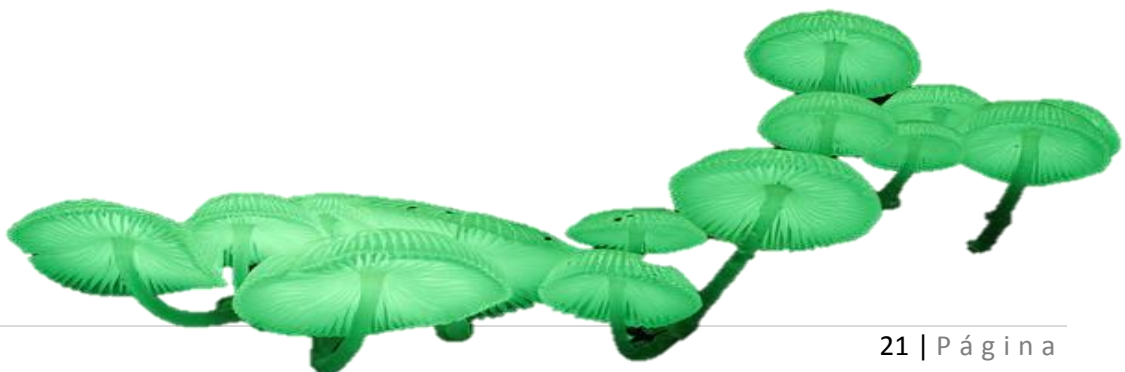
En la Luminiscencia, una Luciferina produce luz y una Luciferasa permite que la reacción se lleve a cabo.

En esta reacción, la Luciferasa actúa como un catalizador

La Luciferasa permite que el oxígeno se combine con la Luciferina, y éste la oxida. Los átomos de la Luciferina quedan en estado excitado, debido a la energía absorbida.

La energía que emiten los átomos de Luciferina al volver a su estado fundamental, se libera en forma de fotones, que percibimos como de luz visible.

Finalmente, la luciferina oxidada se transforma en una Oxiluciferina inactiva.



CAPÍTULO IV: SOMOS BIOLUMINISCENTES

Ya hemos visto la forma en que muchas especies utilizan la bioluminiscencia a su favor y cómo los humanos lo hemos replicado, a la vez, para nuestro beneficio. Pero, ¿Qué tan cercano es, en realidad, este fenómeno para nosotros?

Hasta hace poco se pensaba que sólo una pequeña porción de extrañas criaturas eran capaces de producir **luminiscencia**. Sin embargo, ahora se estima que una gran cantidad de especies –especialmente especies marinas –son capaces de producir este fenómeno. Hoy se sabe que, no solo una pequeña o gran porción de los seres vivos pueden generar algún tipo de luminiscencia; sino que más bien *todas las criaturas vivas* producen (en menor o mayor cantidad) emisiones de luz, producto de la actividad metabólica; como resultado de la interacción de los radicales libres con los lípidos y proteínas. De éste proceso resultan moléculas que reaccionan con químicos, emitiendo **fotones**¹⁵.



Al decir “*Todas las criaturas vivas*”, por supuesto que nosotros –seres humanos –también estamos incluidos en dicha categoría. Así que, al igual que las luciérnagas y otros seres vivos, los seres humanos también emitimos una cierta luz visible; aunque, por supuesto, en niveles sumamente pequeños.

Esto no se trata de un descubrimiento reciente. Los científicos ya sabían desde hace algún tiempo que nuestro cuerpo es capaz de emitir pequeñas cantidades de luz, a causa de reacciones comunes. La luz producida en tales reacciones posee una intensidad de unas **mil veces menor** a la que nuestros ojos son capaces de detectar (Kobayashi, Kikuchi, & Okamura, 2009).

En 2009, la revista *Plos One*, publicó un artículo sobre un estudio realizado por científicos japoneses que midieron con cámaras ultra-sensitivas las emisiones de luz de cinco voluntarios jóvenes –en torno a veinte años –durante periodos de

¹⁵ **Fotón:** Es la partícula portadora de todas las formas de radiación electromagnética, incluyendo los rayos gamma, los rayos X, la luz

ultravioleta, la luz visible (espectro electromagnético), la luz infrarroja, las microondas y las ondas de radio. (Wikipedia, la enciclopedia Libre, 2012)

veinte minutos, cada tres horas, desde las diez de la mañana a las diez de la noche, durante tres días seguidos (Plos One, 2009).

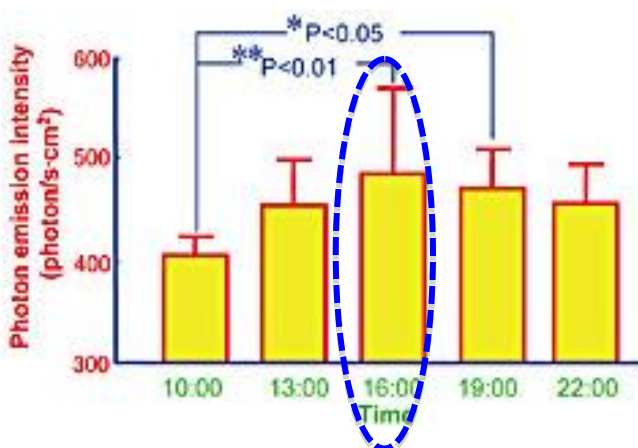
Los científicos descubrieron que los cuerpos emitían un resplandor cuya intensidad aumentaba y disminuía en función de la hora del día, teniendo su mayor intensidad en torno a las cuatro de la tarde.

En el gráfico a continuación, se puede apreciar la representación de la intensidad de las emisiones de luz en función de las horas del día. A la derecha se aprecia un gráfico de variaciones de temperatura corporal a lo largo del día. Al observar ambos y comparar, es notable que –tanto las

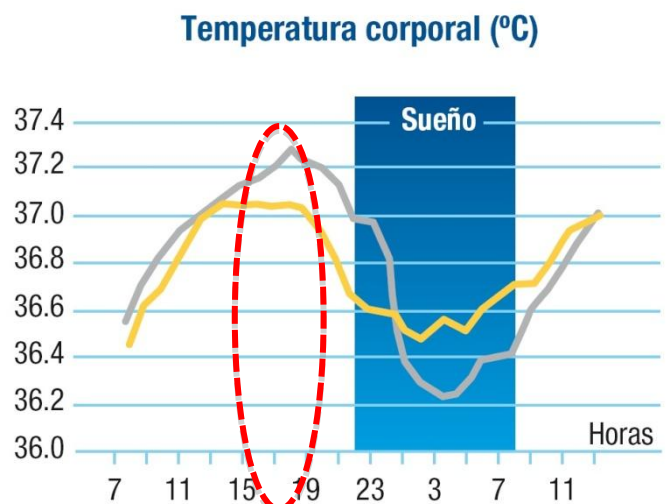
“El cuerpo humano literalmente brilla. La intensidad de la luz emitida por el cuerpo es 100 veces más baja que la sensibilidad de nuestros ojos desnudos. La emisión ultra-débil de fotones es apreciable como energía liberada en forma de luz a través de cambios energéticos en el metabolismo. Nosotros hemos proyectado en imágenes exitosamente el cambio diurno de éstas emisiones fotónicas ultra-débiles, utilizando una cámara criogénica de carga acoplada (CCD). Hemos encontrado que el cuerpo humano emite luz de manera rítmica y directa. Los cambios diurnos en la emisión de fotones debe tener mucha relación con los cambios energéticos del metabolismo.”

(Kobayashi, Kikuchi, & Okamura, 2009)

horas como las depresiones –coinciden o se acercan en sus tiempos. Se sabe que la variación de temperatura corporal se debe esencialmente a la actividad metabólica, por lo cual podríamos llegar a una conclusión similar respecto a la emisión de luz.

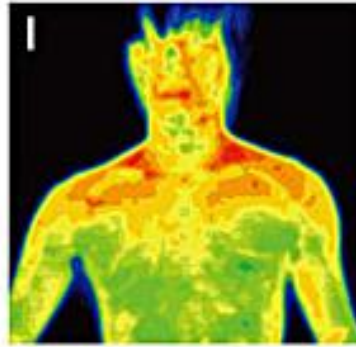


Esquema de variación de emisión fotónica a lo largo del día, con hora pico a las 16h00



Esquema de variación de temperatura a lo largo del día, con hora pico a las 16h00 y 17h30

Para ejemplificar y demostrar de mejor manera ésta investigación, en el presente proyecto estudiaremos los cambios y procesos metabólicos de

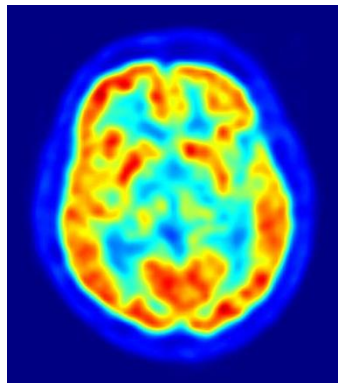


Arriba, imagen resultante de los análisis de bioluminiscencia humana. Abajo, imagen de una Tomografía por Emisión de Positrones.

un sistema en particular: el Sistema Nervioso humano.

¿Por qué el Sistema Nervioso?

Los gráficos obtenidos por los científicos Kobayashi M., Kikuchi D. y Okamura H (responsables de la investigación en la revista *Plos One*), son en extremo similares a las placas obtenidas en exámenes de **Tomografía por emisión de Positrones (PET)** y, de hecho, están basadas en el mismo principio; puesto que, como ya dijimos, la bioluminiscencia humana no es precisamente un descubrimiento reciente, pero su estudio profundo a



penas se está masificando.

El presente capítulo busca analizar la actividad metabólica cerebral y compararla con los resultados de emisión de

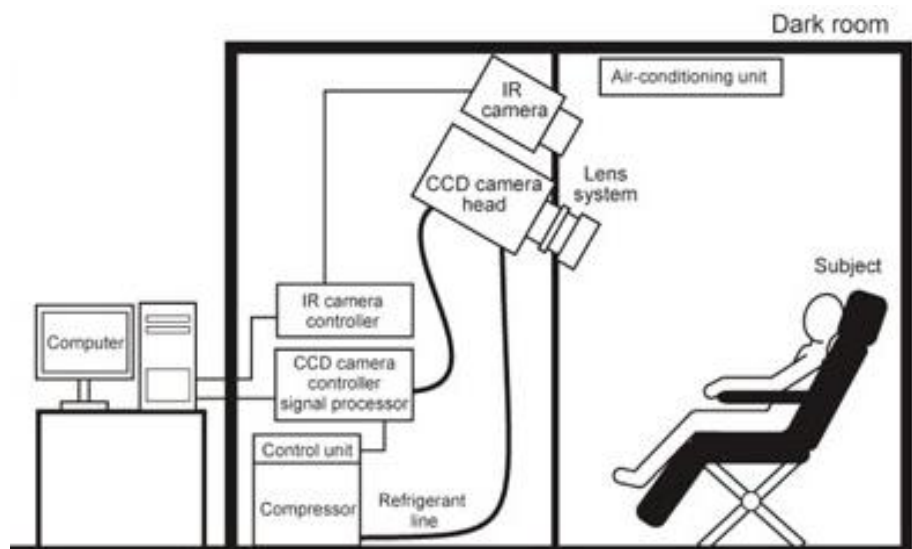
luz corporal, para validar o desechar la hipótesis planteada en un inicio, que es la relación entre la emisión fotónica y el metabolismo.

Ya que el Sistema Nervioso trabaja con impulsos eléctricos transmitidos a través de sus células –las neuronas –parece ser el

objeto de estudio ideal para evaluar una teoría tan intrínsecamente relacionada con la energía.

Pero, para tal propósito, es necesario aclarar algunos conceptos.

A la derecha, un esquema de la metodología experimental para el proyecto de bioluminiscencia humana publicado en la revista *Plos One*.

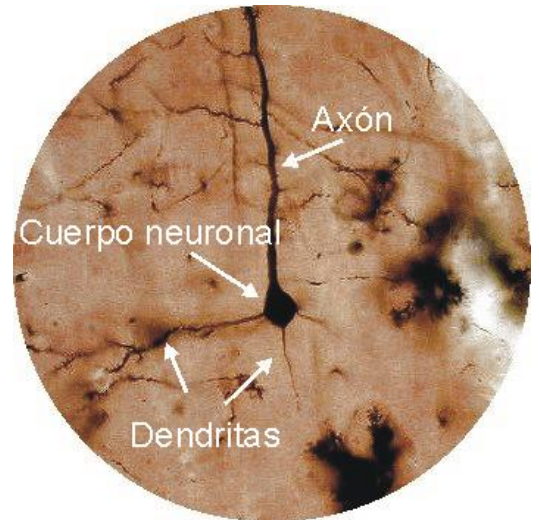


El Sistema Nervioso y los fotones

El Sistema Nervioso

El sistema nervioso genera respuestas rápidas que transmite por impulsos nerviosos a los músculos, lisos o estriados, produciendo un movimiento. Este movimiento puede aplicarse sobre los huesos o sobre órganos internos, como el corazón, el intestino o las glándulas. Esto lo realiza gracias a sus células especializadas, llamadas **neuronas**. Según la función que realizan, las neuronas pueden clasificarse en:

- **Sensitivas**, si reciben información que trasladan al sistema nervioso central,
- **De asociación**, que unen unas neuronas con otras,
- **Motoras**, si conectan con un órgano efector,
- **Mixtas**, si realizan funciones sensitivas y motoras.



Corte Histológico de masa cerebral que muestra una neurona y algunas de sus partes generales.

En animales con un sistema nervioso muy evolucionado, aparecen células protectoras de las neuronas que las alimentan. Estas células forman un esqueleto de sostén, o evitan la propagación de impulsos nerviosos por zonas no deseadas. Se denominan **glías**.

El Tejido Cerebral

El tejido cerebral constituye solamente 2% del peso corporal, pero es el elemento con mayor volumen intracraneal (86%); contiene 75% de agua y está formado por neuronas y glía. Las neuronas son aproximadamente diez mil millones y tienen la función de regular toda la actividad sensorial, motora y neurovegetativa del organismo, a través de la generación, conducción y transmisión de impulsos eléctricos.

El metabolismo cerebral

Es el conjunto de funciones y reacciones que se llevan a cabo en la masa cerebral para mantener un funcionamiento adecuado de todas las actividades necesarias para nuestra

supervivencia. Un proceso muy importante que se lleva a cabo en el sistema nervioso, es el Impulso Nervioso.

Impulso Nervioso y emisión energética

La información se transmite mediante cambios de polaridad en las membranas de las células, debido a la presencia de neurotransmisores que alteran la concentración iónica del interior celular. En animales poco evolucionados, la transmisión del impulso nervioso se genera sin presencia de neurotransmisores.

Éste Impulso es perceptible como una especie de corriente eléctrica fluyendo a través de las neuronas. Al ocurrir el proceso de polarización y despolarización de la célula, se sabe que un mínimo porcentaje de energía es liberado, y que suele ser parte del excedente energético al ocurrir la reacción. Así, podemos establecer como posible la emisión lumínica en cantidades imperceptibles para nuestros ojos.

Neuronas Bioluminiscentes

Los recientes avances científicos están proporcionando los medios para estimular o inhibir determinados tipos de neuronas en regiones específicas del encéfalo.

Hay muchas células de diferentes seres vivos que poseen unas proteínas fotosensibles, que delimitan canales iónicos y se localizan en las membranas celulares.

Una de ellas es la **ChR2**, también llamada **Rodopsina-canal-2**, que se encuentra en las algas verdes. A través de esta proteína canal pueden pasar los iones Na^+ , K^+ y Ca^{2+} . Esta proteína es fotosensible y, cuando impacta luz azul sobre ella, el canal se abre y se produce la entrada de iones de sodio y de calcio y, como resultado, se despolariza la membrana.

De manera similar hay otra proteína, la **NpHR** o *Natronomonas pharaonis halorhodopsin*, que controla el paso de iones cloro, de forma que cuando es estimulada por luz amarilla se abre el canal correspondiente y se produce una entrada de Cl^- que, consecuentemente, hiperpolariza la membrana.

Estas proteínas existen porque, evidentemente, son el resultado de la expresión de unos genes. Pues bien, utilizando la ingeniería genética es posible introducir, a través de virus

inofensivos, los genes de ambas proteínas en determinadas neuronas y conseguir que se expresen. Así, se ha podido expresar **ChR2** en diferentes clases de neuronas.

Ahora bien, la actividad de las proteínas y la consecuente apertura de canales, necesita de la luz y **¿cómo se hace llegar la luz a las neuronas cerebrales?**

No se trata sólo de que se expresen genes en neuronas concretas, sino que se manifieste su actividad cuando sobre esas células impacta la luz. Esto se hace implantando fibras ópticas mediante **Radiocirugía Estereotáxica**¹⁶, como se implantan electrodos; la luz después se transmite mediante dichas fibras.

Por ejemplo, se han introducido genes de **ChR2** en unas neuronas como las células ganglionares de la retina de ratones que carecían de conos y bastones y que, por lo tanto, eran ciegos. Las células ganglionares llevan los impulsos nerviosos por el nervio óptico al tálamo (al núcleo geniculado lateral) y de ahí, por otras neuronas, a la corteza visual. En estos experimentos, cuando se estimulaba la retina con luz azul se observaba actividad en la corteza visual, lo que implicaba que las células ganglionares habían expresado el gen de **ChR2**.



Imagen que muestra esquemáticamente la realización de una Radiocirugía Estereotáxica

Aún no se ha encontrado una aplicación verdadera para la implantación de los genes encargados de la existencia de las proteínas **ChR2** y **NpHR**, pero es seguro que, en un futuro cercano, los estudios en torno a temas como éste serán de gran utilidad en el mundo de la tecnología, la medicina y la investigación.

En el siguiente capítulo, se revisarán varios otros métodos que utilizan la luminiscencia para fines que van desde mera entretenimiento hasta futuristas pruebas de laboratorio.

¹⁶ técnica no invasiva que utiliza altas dosis de radiación, pero dirigidas con gran precisión; lo que evita los efectos secundarios de la Radioterapia convencional.

CAPÍTULO V: ¿Y PARA QUÉ SIRVE? Usos y aplicaciones de la luminiscencia

Hace ya mucho tiempo que la Luminiscencia –ya sea generada de manera natural o de manera artificial en un laboratorio –ha dejado de ser una simple curiosidad científica o un ensueño de ciencia-ficción.

Hoy en día, este conocimiento es aplicado en diversos campos y de manera bastante amplia.

La luminiscencia en cada uno de sus tipos, tiene multitud de aplicaciones en la vida humana. Los aborígenes cubanos, y luego los cimarrones, usaban lámparas hechas con güiras agujereadas llenas de cocuyos.

Los bombillos de bajo consumo (conocidos en Cuba como ahorradores) y las lámparas fluorescentes usan el principio de la fluorescencia para generar luz consumiendo menos energía eléctrica que otros tipos de lámparas. Otro ejemplo de esta situación son las Lámparas de vapor de mercurio.

Se emplean materiales fosforescentes para recubrir elementos que se desea sean visibles en la oscuridad, dada la característica de estos componentes de generar luz mucho tiempo después de haber cesado la radiación de excitación. Esto se usa sobre todo en instrumentos de medición, como relojes, termómetros, brújulas, controles de navegación en aviones, etc.

Los **Diodos emisores de luz** (LED) emite luz a través de un fenómeno electro-luminiscente.



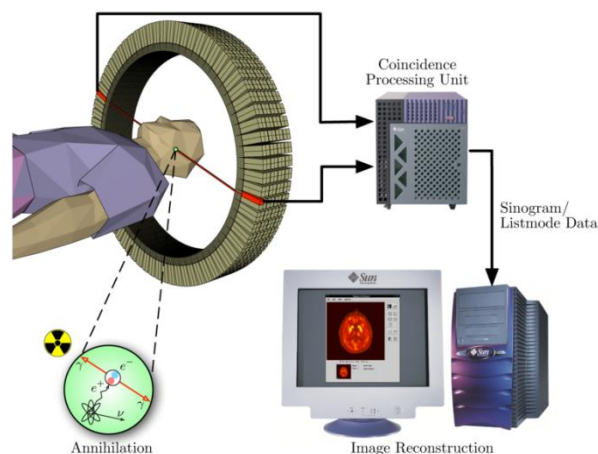
DAÑO CURIOSO:

En la II Guerra Mundial, los soldados japoneses hicieron uso de la luminiscencia, mezclando la capacidad bioluminiscente de ciertos crustáceos –como el *Euphausia Pacifica* (a la izquierda) –, amasados con saliva, como fuente de luz para leer mapas en la noche.

En cuanto a quimioluminiscencia se refiere, las aplicaciones se encuentran muy relacionadas con la medicina y la criminalística.

Por ejemplo, el Luminol, al utilizarse sobre rastros orgánicos, como la sangre; produce una reacción luminiscente. Efectivamente, cualquier cantidad de sangre, seca o fresca, inclusive hasta una tela y un cuchillo lavados con jabón producirían el característico brillo azul, con minúsculas cantidades de sangre o Luminol, el brillo persistía entre 5 y 30 segundos. Debido a esto, el Luminol se utiliza en pruebas forenses de detección de restos orgánicos, en una prueba que se denomina, justamente, *Prueba del Luminol*.

En medicina existe un examen conocido como **Tomografía por Emisión de Positrones (PET, por sus siglas en inglés)**, el cual usa la capacidad luminiscente de ciertos compuestos para generar una imagen de la disposición celular de una zona u órgano en particular. Funciona de la siguiente manera: Se introduce a la persona en un detector, que tiene uno o más anillos capaces de detectar el impacto de fotones. Cuando los átomos inestables empiezan a desintegrarse, emiten **positrones**¹⁷ dentro de las células, pero las células están hechas de átomos con multitud de electrones rodeando todos los átomos. El positrón creado, en un abrir y cerrar de ojos, choca con un electrón y ambas partículas se desintegran, produciendo dos fotones con muchísima energía (radiación gamma). De modo que el anillo que rodea al paciente detecta dos fotones a la vez y, uniendo ambos impactos con una línea imaginaria, tenemos las posibles localizaciones del positrón responsable. Cada par de líneas que se cruce (o casi se cruce) identifica células emisoras de positrones, es decir, células “marcadas” con la sustancia inestable. Éste test es frecuentemente usado en oncología para detectar anomalías –como tumores– de manera temprana.



(A la derecha) Esquema de un examen de Tomografía de Emisión Positrónica (PET)

¹⁷ Es una partícula elemental, opuesta al electrón. Posee la misma cantidad de masa y carga eléctrica positiva.

Una aplicación clínica de los materiales luminiscentes la vemos en el **Fluoroimmunoanálisis (FIA)**. En esta aplicación, el objetivo es identificar especies biológicas, especialmente para su uso clínico.

Su utilidad se basa en la colocación de “*etiquetas luminiscentes*” que por sí solas no luminescen, pero que se acoplan químicamente con un **anticuerpo**¹⁸, cuya presencia está ligada a una biomolécula u organismo dado; la etiqueta es entonces capaz de responder con luminiscencia cuando se le ilumina con luz ultravioleta, indicando de esta forma la presencia de la biomolécula u organismo.

Por otra parte, ha habido una serie de experimentos que investigan una especie de medusa llamada *Aequorea victoria*, que posee una proteína que produce luz azul en presencia de calcio (Shaw, 2002 y Furtado, 2009) y por lo tanto puede ser utilizada en biología molecular para medir los niveles de calcio de las células. Algunos científicos han propuesto otras ideas para la utilización de la bioluminiscencia en el futuro, por ejemplo, el árbol de navidad con luz propia.

¹⁸ Es una proteína producida por el sistema inmunitario del cuerpo cuando detecta sustancias dañinas, llamadas antígenos.

LAS BAHÍAS BIOLUMINISCENTES: Su importancia en nuestro mundo

Además de todo lo anterior, la naturaleza tiene también su propio uso para la luminiscencia; que, como ya vimos, va desde ayudar a ciertas especies bioluminiscentes a buscar pareja, hasta permitirles a otras atraer a sus presas. Sin embargo, hay un fenómeno que, aunque existe en varias partes del mundo, se ha difundido muy poco.

Me refiero a las Bahías bioluminiscentes. Para muchos, las siguientes imágenes podrían parecerle más bien cosa de *Photoshop* o ciencia-ficción. Sin embargo, se trata de una



acumulación de seres microscópicos bacterianos, tipo **Plancton**, llamados *Plancton Dinoflagellata* (**Dinoflagelados**) que, por motivos desconocidos, se acumulan por millones y crean balsas de luz en medio del mar. A este fenómeno se le ha llamado “**Mar de Ardora**” y es claramente una maravilla natural que raya en lo “increíble” y están en peligro de desaparición, producto de la contaminación lumínica de las ciudades y la contaminación oceánica. Sólo en Puerto Rico han desaparecido tres

bahías bioluminiscentes y muchas más lo están haciendo en el resto del mundo.

¿Cuál es su importancia?

Desde el punto de vista ecológico, las bahías son un valioso recurso, ya que son focos significativos del interés científico debido a su importancia en la producción primaria y secundaria. Nos permite estudiar y conocer mejor cómo ocurre el flujo de energía y facilita la preparación de modelos ecológicos fáciles de analizar.

Por otro lado, los lugares donde se ha observado este fenómeno de la bioluminiscencia, se convierten en un gran atractivo para



Acumulación de *Plancton Dinoflagellata* e una bahía. Vista de día

el público y por tanto fomentan a la economía del lugar con su aportación al **ecoturismo**.

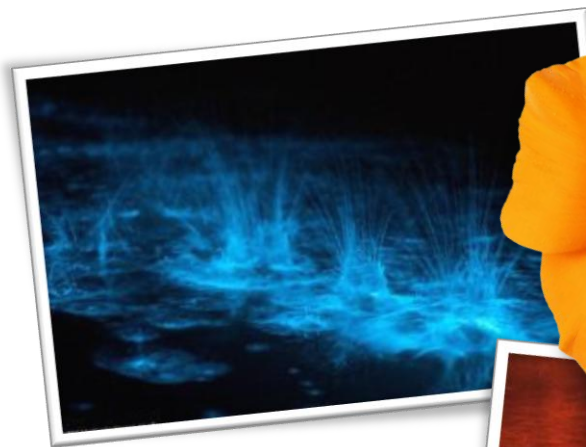
Las bahías bioluminiscentes son extremadamente vulnerables a las descargas domésticas de aguas negras ya que éstas contienen metales, alta demanda biológica de oxígeno, y urea. Dado el hecho de que estas bahías son generalmente someras (aguas llanas) y mantienen un patrón de circulación pasivo, cualquier alteración a los canales de entrada que acelere el intercambio de agua puede resultar fatal a la retención y



concentración de los **dinoflagelados** en el área. Se ha determinado que la presencia de **Mangle**¹⁹ es

Manglar en Tacarigua, Estado Miranda,
Venezuela

fundamental en mantener estos sistemas en operación; por lo tanto cualquier intento de eliminar o reducir el manglar que rodea a las bahías puede acabar con este rico, perfecto y delicado ecosistema.



Imágenes de Bahía Luminiscente en
Puerto Rico



¹⁹ Árbol costero que es capaz de vivir en zonas húmedas salinas y que constituye el hábitat denominado **Manglar**.

CONCLUSIONES

La Quimioluminiscencia y La Bioluminiscencia son mecanismos sumamente extendidos en la naturaleza y, aunque poco conocidos por el hombre común, no se trata de descubrimientos recientes. Más bien llevan varios años estudiándose.

La bioluminiscencia es, quizás una de las formas evolutivas más difundidas, puesto que muchos estudios calculan que cerca del 90% de la flora y fauna propia de la porción media y abisal del océano posee esta capacidad. La bioluminiscencia es un fenómeno nada lejano a nuestras vidas, ya que puede abarcar desde áreas como Biología –refiriéndonos a Fauna Abisal –, Química –por los procesos químicos que se llevan a cabo para generar luminiscencia en solución acuosa –y Morfología, puesto que nuestro cuerpo, al realizar gran parte sus funciones, libera energía en forma fotónica que genera bioluminiscencia en mínimas cantidades, sólo perceptibles por cámaras de bioluminiscencia o similares. Sin embargo, la naturaleza de ésta condición es poco o nada conocida comúnmente.

Es necesario reflexionar en el conocimiento de éstos procesos, ya que, como hemos visto, son de suma utilidad para mecanismos que a nosotros –estudiantes de medicina –nos llegarán a resultar cotidianas, tales como pruebas de inmuno-análisis y tomografías.

La luminiscencia es un campo que debe continuar estudiándose a profundidad, ya que puede llegar a resultar de una utilidad aún mayor de la que nos presenta hoy en día. Hasta hace sólo unos años, estudios y experimentos como los revisados en éste ensayo, no pasaban de ser una curiosidad científica; pero hoy se sabe que son de suma importancia y utilidad para el campo criminalístico, médico y clínico.

Es importante reparar, por otro lado, en la auténtica creadora de estos fenómenos: La Naturaleza. Quien, producto del poco conocimiento y conciencia por parte del ser humano, está siendo destruida lentamente.

Maravillas como las bahías luminiscentes podrían desaparecer en pocos años si no se incentiva la toma de conciencia a cerca de éstos fenómenos, que no son para nada ajenos, puesto que inclusive en ciertas zonas de Ecuador se presenta este maravilloso fenómeno.

La conciencia no puede existir sin conocimiento, y éste no puede existir sin educación. Hay que, por lo tanto, comenzar a educar. Educar para producir, educar para proteger, educar para querer lo que es nuestro, educar para incentivar la curiosidad y el ansia de saber más, educar para pensar en el futuro, educar para ser mejores.

No permitamos que el egoísmo prive a nuestros hijos y nietos de éstas maravillas, no permitamos que el progreso sea enemigo de la naturaleza, no permitamos que, cuando nos pregunten, en el futuro, “¿Qué pasó?” no sepamos responder.

BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA

2. Revista *Shaw*(2002) , páginas 62-67.
3. Avellán, N. (Octubre de 2012). Luminiscencia y Bioluminiscencia. Cuenca, Ecuador.
4. *Diccionario Encilopédico Larrouse Vol.1.* (2009). Larrouse Editorial, S.L.
5. Enciclopedia Libre Universal en Español. (Marzo de 2010). *Enciclopedia Libre Universal en Español.* Obtenido de <http://enciclopedia.us.es>
6. H. H. Furtado. (2009).
7. Kobayashi, M., Kikuchi, D., & Okamura, H. (2009). Imaging of Ultraweak Spontaneous Photon Emission from Human Body Displaying Diurnal Rhythm. *Plos One* .
8. Kricka, L. J. (2003). *Optical Methods: A guide to the escences.* AACC Press.
9. Laboratorio de Química II. (2010). *Determinación Espectrofluorimétrica de Quinina en Agua tónica.*
10. Plos One. (2009). Imaging of Ultraweak Spontaneous Photon Emission from Human Body Displaying Diurnal Rhythm. *Plos One* .
11. Real Academia de la Lengua. *Diccionario de la Real Academia de la Lengua Española (RAE).* XXII Edición.
12. Seliger, H. H. (1965). Light: Physical and Biological Action. *New York: Academic Press* .
13. *Wikipedia, la enciclopedia Libre.* (9 de Octubre de 2012). Recuperado el Enero de 2013, de es.wikipedia.org/wiki/fotón
14. Teens Health. (Noviembre de 2011). Recuperado en Enero de 2013, de kidshealth.org/teens/en_español

