

Luz fría: ¿una bombilla dentro de la nevera?

Pilar Amo-Ochoa

Resumen: En conmemoración con el año 2015, “Año internacional de la luz”, escribimos un artículo didáctico y divulgativo basado en fenómenos luminiscentes, principalmente enfocado a profesores de enseñanza secundaria. Deseamos que conceptos como fluorescencia, fosforescencia, reacciones quimioluminiscentes, etc., lleguen a los estudiantes vía las tres grandes alternativas de la divulgación, “Los medios”, “la palabra escrita” y la “actividad científica presencial” en estrecha colaboración alumno/profesor. Incluimos también, sencillas, asequibles y novedosas **síntesis de nuevos** polímeros de coordinación monodimensionales fluorescentes de cobre (I) con isonicotinato de etilo e isonicotinato de metilo, enlazando estos materiales con sus posibles aplicaciones en el campo de fabricación de diodos.

Palabras clave: Luminiscencia, divulgación, fluorescencia, fosforescencia, polímero coordinación.

Abstract: To commemorate the 2015 “International Year of Light”, we wrote a dissemination and didactic article based on luminescent phenomena, mainly focused on secondary school teachers. We hope that concepts such as fluorescence, phosphorescence, chemiluminescent reactions, etc., reach students via the three great alternative dissemination, “Media”, “written word” and “attendance scientific activity” closely pupil / teacher collaboration. Also included, simple and affordable synthesis of new fluorescent one dimensional coordination polymers based on copper (I) with ethyl and methyl isonicotinate, linked to the use of these materials in the LEDs manufacture.

Keywords: Luminescence, disclosure, fluorescence, phosphorescence, coordination polymer.

INTRODUCCIÓN

Hace 500 millones de años, la naturaleza ya jugaba con obtener luz de muy diversas formas y colores. Además de luz que a su vez genera calor; en los bosques; en los mares; tanto en zonas costeras, como en zonas abisales (a profundidades mayores de 2.000 metros en las que reinan presiones de más de 200 atmósferas, oscuridad total y temperaturas inferiores a los 5 °C), los hongos, las algas, las medusas, los peces... en íntima unión con proteínas y bacterias desarrollaban y desarrollan reacciones bioquímicas que permiten generar luz en ausencia de calor.

Plasmar en 8 folios estos 500 millones de años sería casi imposible, pero de conseguirlo podemos asegurar que sería altamente tedioso. Haciendo uso de la capacidad de abstracción que posee el ser humano, pretendemos escribir un artículo de divulgación científica, con la idea de que el profesor/a pueda con facilidad trasladar lo escrito aquí al laboratorio-taller del estudiante de enseñanza secundaria fomentando así el conocimiento y las vocaciones científicas.

Coincidiendo con el año 2015, “año internacional de la Luz”, nos centraremos en el concepto de luminiscencia.

Teniendo en cuenta que la naturaleza se tomó 4.000 millones de años de continuos cambios y evoluciones para conseguir *luz fría* (solo contando desde el origen de la tierra). No podemos menos que sentirnos grandes, si nues-

tros primeros atrevimientos comenzaron hace tan solo tres mil años, cuando plasmamos en poesía la belleza de las luciérnagas.^[1] Conforme tomamos conciencia de nuestro poder fuera de los libros, osamos jugar con la alquímica y describir como ciertos minerales, podían “embeber” la luz del sol y después emitirla en la oscuridad, más allá, nuestra genialidad se representa en ilustres científicos como Wiedemann^[2, 3] y en su acuñe del término luminiscencia (latín *-lumen-luz*) junto con sus grandes deducciones, al establecer una primera clasificación de este fenómeno, describiendo 6 tipos diferentes de luminiscencia dependiendo de cuál fuese el origen de la misma.

Y a pesar de no ser los autores de este genial invento, gracias a la ausencia de patentes por parte de la madre naturaleza y a nuestra capacidad de observación, deducción, trabajo... plagio..., nos encontramos que en la actualidad hemos descrito y generado, más de 15 tipos distintos de fenómenos luminiscentes... y la historia continua...

Está claro que cualquier niño del mundo ha oído hablar de las luciérnagas y muy probablemente de los peces abisales. Si a alumnos de secundaria se les enseña un objeto que emite luz en la oscuridad, sin el apoyo de fuentes de corriente, es muy probable que lo reconozcan como un elemento fosforescente. Pero si preguntamos por una explicación científica de esto hecho, es casi seguro que no lo sabrán. Por lo tanto, los objetivos de este trabajo son: aportar ideas que el docente pueda utilizar fácil y cómodamente con el fin de enseñar a sus estudiantes el concepto de luminiscencia, y algunos de sus tipos; especialmente la *quimio* y *bioluminiscencia*; distinguir entre sustancias *fosforescentes* y *fluorescentes*; conocer las aplicaciones de estos fenómenos en nuestro entorno y su capacidad para crear riqueza; afianzar conceptos previamente adquiridos como, las radiaciones electromagnéticas, la luz visible y ultravioleta, longitud de onda, que los átomos pueden excitarse mediante el uso de este tipo de radiaciones, que la temperatura influye en la velocidad de las reacciones químicas, etc.

La divulgación científica puede realizarse de diversas maneras. En esta publicación se pretende unificar tres



P. Amo-Ochoa

Universidad Autónoma de Madrid
Facultad de Ciencias
Departamento de Química Inorgánica C-7
Ciudad Universitaria de Cantoblanco 28049 Madrid
C-e: pilar.amo@uam.es

Recibido: 22/06/2015. Aceptado: 21/07/2015.

importantes alternativas, “los medios” (ver referencias bibliográficas), “el trabajo escrito” y “la actividad presencial”, entendiéndose que esta última debe ser de carácter obligatorio en la enseñanza de las ciencias, si queremos realmente que nuestros más jóvenes tomen partido por ella. Por ello, este artículo aporta experimentos e ideas que pueden trasladarse en la elaboración de un taller práctico para grupos reducidos de estudiantes, que podrían distribuirse en unas dos sesiones de una a dos horas de duración. La primera parte, se debe imaginar y realizar en la oscuridad haciendo uso de una presentación audiovisual en donde se exploran los conceptos teóricos con fotografías y ejemplos, acompañada a su vez de experimentos *in situ*. Durante todo el desarrollo, la participación alumno-profesor debe ser lo más activa posible. En la segunda parte describimos la síntesis de dos polímeros de coordinación fluorescentes por reacción química entre cantidades estequiométricas del yoduro de cobre (I) y del isonicotinato de etilo o de metilo en acetonitrilo a 25°C, que unifica la investigación más actual con este tipo de fenómenos y enlaza con una aplicación industrial muy importante, “los LEDs”.

DISCUSIÓN

Las reacciones químicas normalmente transcurren con pérdida de calor y de luz, siendo las combustiones las más habituales. Esta emisión de energía se debe a que las moléculas se encuentran en estados de alta energía, poco favorables, y para llegar a un estado “más cómodo” liberan esa energía hacia el exterior. La energía emitida en una reacción química puede ser: calorífica y/o lumínica.

Luminiscencia^[4] es todo proceso de emisión de luz fría, en el que la emisión de radiación lumínica es provocada en condiciones de temperatura ambiente o baja. Cuando un sólido recibe energía procedente de una radiación incidente, ésta es absorbida, excitándose la estructura electrónica de los átomos que lo componen. Estos electrones pasan a niveles de energía superiores y retornan posteriormente a su estado fundamental, emitiendo esta energía en forma de luz. En 1852, el físico inglés George Stokes^[5] usando filtros y prismas demostró que la luz incidente de una región espectral era absorbida y transformada por el material en una luz emitida en una región espectral diferente, de distinta longitud de onda.

Dependiendo de la energía que la origina (según la forma de excitar al electrón), la luminiscencia recibe distintos nombres, como por ejemplo: *Quimioluminiscencia*, si es por efecto de una *reacción química*, o *Bioluminiscencia*, si es por efecto de *reacciones químicas biológicas*.

Si nos atenemos al *tiempo en que tarde en emitirse la luz después de la excitación*, (la emisión de luz tiene lugar a un tiempo característico (τ) después de la absorción de la radiación) la luminiscencia se puede clasificar en: *fluorescencia*, si el fenómeno es prácticamente *instantáneo* o *fosforescencia*, si es más *duradero*. El intervalo entre los dos pasos puede ser corto (menos de 0,0001 segundos) o largo (muchas horas). Si el intervalo es corto, el proceso se llama fluorescencia; si el intervalo es largo, el proceso se llama fosforescencia. En ambos casos, la luz producida es casi siempre de menos

energía, es decir, de longitud de onda más larga, que la luz excitante.

Fluorescencia y Fosforescencia

Existen multitud de ejemplos de sustancias *fluorescentes*, una de ellas es la *proteína aequorina*,^[6] (bioluminiscencia) encontrada en ciertas medusas, que produce luz azul en presencia de calcio y por lo tanto puede ser utilizada en biología molecular para medir los niveles de calcio de las células (Figura 1).

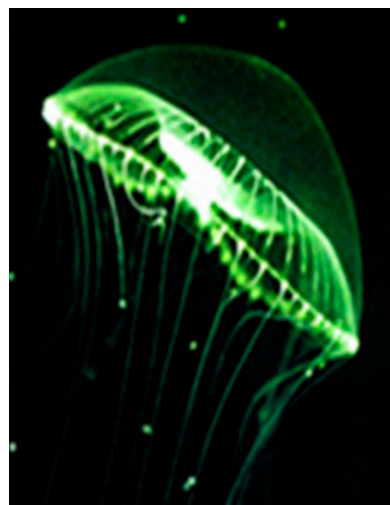


Figura 1. Medusa fluorescente gracias a la proteína aequorina

Otros dos ejemplos, realmente interesantes, son la *fluoresceína*,^[7] y la *quinina*. La primera de ellas es una sustancia orgánica colorante perteneciente al grupo de las xantinas que produce un color fluorescente verde intenso en soluciones alcalinas (con pH mayor a 7). Cuando se expone a la luz, la fluoresceína absorbe ciertas longitudes de onda y emite luz fluorescente de longitud de onda larga. Es, asimismo, un colorante indicador ftálico que aparece de color amarillo-verde de la película lagrimal normal,

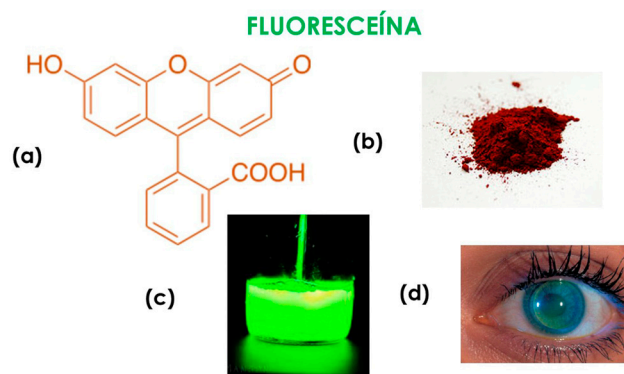


Figura 2. a) fórmula química de la fluoresceína, b) aspecto de la fluoresceína en estado sólido, c) disolución de fluoresceína fluorescente, d) aplicación de la fluoresceína en la detección de enfermedades oculares

y de color verde brillante en un medio más alcalino, tal como el humor acuoso, y por eso se usa terapéuticamente como una ayuda para el diagnóstico de las lesiones corneales y trauma corneal.^[8]

La *quinina*,^[9] C₂₀H₂₄N₂O₂ es un alcaloide natural, blanco y cristalino, procedente de la corteza del quino. Tiene un sabor muy amargo. Es un estereoisómero de la quinidina. Los nativos americanos lo utilizaban por sus propiedades curativas, antipiréticas, antipalúdicas y analgésicas. Se incorporó al acervo cultural europeo cuando fueron descubiertas sus propiedades antimaláricas.^[10]

Los minerales son también una fuente de materiales que suelen presentar fluorescencia en el rango del visible. De las distintas especies minerales identificadas hasta el presente, alrededor de 500 de ellas presentan este fenómeno. De hecho, el nombre de fluorescencia viene del mineral fluorita cuya fluorescencia azul normal puede proceder de la presencia de materia orgánica o de iones de tierras raras.

Las sustancias *fosforescentes* tienen la propiedad de absorber energía y almacenarla, para emitirla posteriormente en forma de radiación. A aquellos elementos que ofrecen fosforescencia se les conoce como foto-reactivos, es decir que requieren luz para obtener la propiedad. El mecanismo físico que rige este comportamiento es el

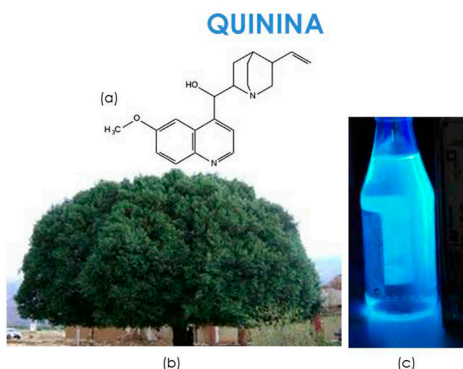


Figura 3. a) fórmula química de la quinina, b) imagen del Quino, árbol de cuya corteza se obtiene la quinina, c) bebida refrescante y fluorescente con quinina



Figura 4. a) Aplicaciones de la quinina en el tratamiento de la malaria, b) aplicaciones de la quinina en cosméticos

Minerales FLUORESCENTES



Figura 5. Aragonito, mineral fluorescente

SUSTANCIAS FOSFORESCENTES



silicato de calcio, sulfato de zinc, sulfato de cobre, etc...



Figura 6. Juguetes fosforescentes (arriba). Reloj con manecillas fosforescentes a), algas fosforescentes en un lago de Letonia b)

mismo que para la fluorescencia, no obstante la principal diferencia con ésta es que hay un retraso temporal entre la absorción y la reemisión de los fotones de energía. En la fosforescencia, las sustancias continúan emitiendo luz durante un tiempo mucho más prolongado, aun después del corte del estímulo que la provoca, ya que la energía absorbida se libera lenta (incluso muchas horas después) y continuamente.

Este fenómeno es aprovechado en aplicaciones tales como la pintura de las manecillas de los relojes, o en determinados juguetes que se iluminan en la oscuridad. No obstante, una de sus aplicaciones más conocidas es el empleo de materiales fosforescentes en los monitores y televisores basados en un tubo de rayos catódicos. En esta tecnología se emplea un haz de electrones que va realizando un barrido de la pantalla con una frecuencia



Figura 7. Ejemplos de seres vivos bioluminiscentes: luciérnagas, hongos, peces abisales

típica de 50-60 Hz. La pantalla está recubierta de material fosforescente, lo que permite la persistencia de la imagen entre barridos sucesivos.

Una vez explicados estos fenómenos, los alumnos pueden prepararan disoluciones de fluoresceína y quinina (tónica), (ver materiales y métodos) y estudiarán minerales como el aragonito, etiquetas, objetos fosforescentes y rotuladores marcadores. Estas sustancias y materiales serán sometidos a una fuente radiación luminosa (luz visible o ultravioleta), observando lo que ocurre. Posteriormente apagarán la fuente de emisión luminosa y anotarán y discutirán lo observado.

Quimio y Bioluminiscencia

La obtención de *luz fría* a partir de una reacción química es lo que se denomina *quimioluminiscencia*, si estas reacciones químicas tienen carácter biológico recurriremos al término *bioluminiscencia*. Algas, luciérnagas, hongos, medusas, peces abisales etcétera (Figura 7). El origen de su fluorescencia se basa en reacciones bioquímicas que se producen en su interior gracias a proteínas o bacterias.

El brillo azulado de los peces abisales es producido por miles de millones de bacterias bioluminiscentes, que habitan bajo su piel en un órgano llamado fotóforo (Figura 7). Las bacterias producen la luz por medio de reacciones bioquímicas; la luz permite a los peces abisales cazar, navegar, comunicarse y eludir a sus depredadores. A cambio, las bacterias tienen un hogar seguro, oxígeno y nutrientes provenientes de la sangre del pez. Sin un suministro continuo de oxígeno, las bacterias no podrían brillar.

Algunos científicos han propuesto otras ideas para la utilización de la bioluminiscencia en el futuro, por ejemplo, el árbol de navidad con luz propia. Sería interesante plantearse otros usos potenciales de este fenómeno natural.

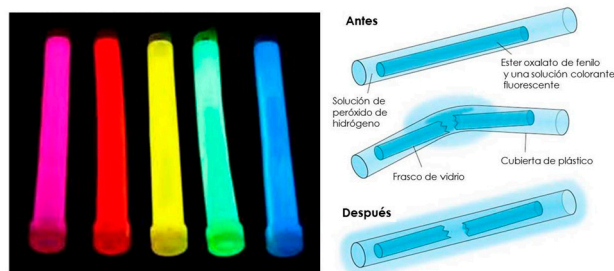


Figura 8. Funcionamiento de las barras luminiscentes

Como ejemplos llamativos y accesibles de reacciones típicamente quimioluminiscentes describimos dos, uno de ellos con barras luminiscentes comerciales y el otro con luminol.^[11]

Las barras luminosas están formadas por un tubo cilíndrico de plástico que contiene una mezcla de oxalato de difenilo y un colorante (que da a la barra su color). En el interior del tubo de plástico hay un pequeño tubo cilíndrico 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 (Figura 8).

Las reacciones químicas en general y por supuesto las quimioluminiscentes, dependen de la temperatura. La reacción se acelera a medida que aumenta la temperatura. Los estudiantes pueden doblar tres barras luminiscentes, una en agua caliente, otra a temperatura ambiente y la tercera en una mezcla de hielo y sal a unos -10°C . Con la primera observarán un brillo fantástico, pero que no durará tanto como la expuesta temperatura ambiente. ¿Qué es lo que observan con la barra rota a -10°C ?

La velocidad de la reacción disminuye a bajas temperaturas; es por esto que mantener las barras luminosas en el congelador durante varias horas puede permitir que la barra brille de nuevo cuando se calienta, después de que hubiera dejado de brillar. La reacción no se detiene por completo en el congelador, pero es tan lenta que el brillo es apenas perceptible.

Este experimento puede realizarse de manera opcional, pero mucho más llamativa, utilizando nitrógeno líquido con el fin de casi paralizar la reacción química a temperaturas cercanas a los -195°C .^[12] En este caso, el profesor, sumergirá las barras luminosas en nitrógeno líquido (este es un buen momento para introducir, las propiedades del nitrógeno líquido, su procedencia y su forma de obtención...). Los alumnos podrán deducir lo que va a ocurrir después de haber realizado sus experimentos previamente.

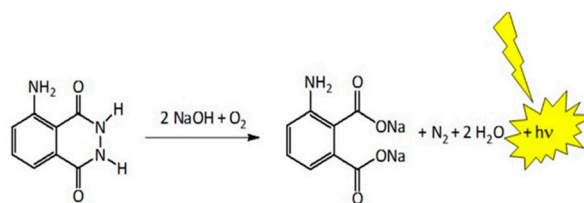


Figura 9. Reacción quimioluminiscente entre el luminol en medio básico y el oxígeno



Figura 10. Aplicación de disoluciones básicas de luminol en ciencia forense para detectar rastros de sangre

Una de las sustancias más empleadas para realizar reacciones luminiscentes es el luminol (descubierto por Albrecht en 1928)^[13] y del que inmediatamente empezaron a publicarse artículos de educación y divulgación (año 1934). El luminol (3-aminoflatohidracida) produce quimioluminiscencia por oxidación en disolución básica y con la acción de un catalizador, según la reacción siguiente:

Es una herramienta muy utilizada en la investigación forense^[14] ya que puede revelar en disolución, con un oxidante, hasta los restos más ínfimos de sangre (luminol mezclado con H_2O_2). Las reacciones con luminol requieren un catalizador. En el caso de la sangre, el hierro de la hemoglobina es un poderoso catalizador, por lo que la "zona sangrienta" se iluminará de un resplandor azul durante unos 30 segundos (Figura 10). En este trabajo, lo que llamamos luminol es en realidad una mezcla de: luminol (3-aminoflatohidracida), Na_2CO_3 , $(NH_4)_2CO_3$ y $CuSO_4 \cdot 5 H_2O$, o Luminol en medio básico (ambas disoluciones producen un destello azulado, de corto período de duración). También tiene aplicaciones en la detección de agua oxigenada en el agua o en medicina general, para investigar la presencia de óxido nítrico en los gases exhalados de enfermos asmáticos.

Polímeros de Coordinación Luminiscentes y LEDs

En la segunda parte de este artículo proponemos un apartado de química actual y completamente inédito^[15] basado en unas síntesis sencillas de polímeros de coordinación monodimensionales^[16] de cobre en estado de oxidación (I) con una configuración electrónica d^{10} ¹⁷ que presentan propiedades fluorescentes (Figuras 11, 12 y 13). Esta propuesta se basa en la gran cantidad de estudios de investigación recientes que buscan entender la relación entre los componentes de un polímero de coordinación y sus propiedades luminiscentes con el objetivo de fabricar materiales con aplicaciones en diodos emisores de luz (LED)^[17] para entender la importancia de este tema, no es

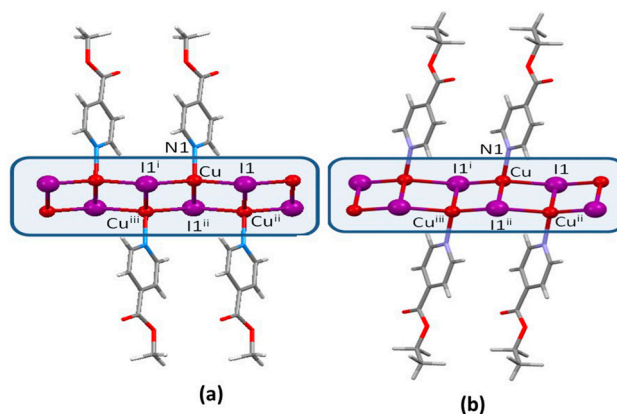


Figura 11. a) Estructura del polímero de coordinación monodimensional de Cu(I) con el isonicotinato de metilo (MeIN) de fórmula $[Cu(MeIN)]_n$ b) Estructura del polímero de coordinación monodimensional de Cu(I) con el isonicotinato de etilo (EtIN) de fórmula $[Cu(EtIN)]_n$

necesario más que mencionar que Alfred Werner recibió el premio Nobel de Química por su teoría de la química de coordinación (1913) y que el pasado 7 de octubre del 2014, los japoneses Isamu Akasaki, Hiroshi Amano y Shuji Nakamura, fueron distinguidos con el Premio Nobel de Física, por inventar estos dispositivos emisores de luz.

Las síntesis de un solo paso, a $25^\circ C$ y en condiciones ambientales,^[15] permitirán a los alumnos adentrarse en la investigación más novedosa. Además, los compuestos sin-

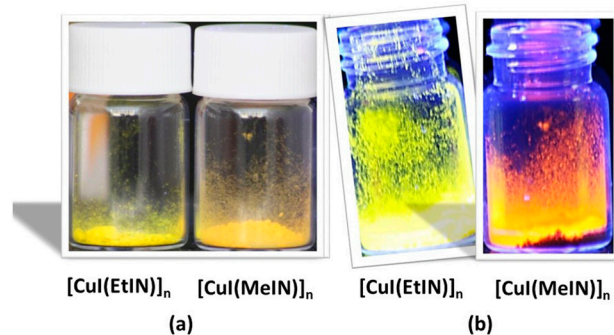


Figura 12. a) Polímeros de coordinación $[Cu(EtIN)]_n$ y $[Cu(MeIN)]_n$ bajo luz visible b) Fluorescencia mostrada por estos compuestos cuando son expuestos a la luz ultravioleta

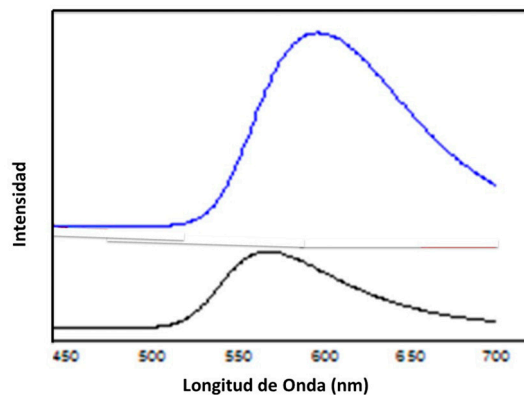


Figura 13. Espectros de emisión de los compuestos $[Cu(EtIN)]_n$ (negro) comparado con el del $[Cu(MeIN)]_n$ en azul

tezados presentan enormes similitudes en su estructura (cambiaremos un grupo metilo por un etilo) y, sin embargo, ese pequeño cambio produce grandes variaciones en sus propiedades luminiscentes.

Estos compuestos son dos polímeros de coordinación monodimensionales de doble cadena, donde los átomos de cobre en estado de oxidación uno, están conectados a través de átomos de yodo (yoduros) que actúan como ligandos puentes. Cada cobre se rodea de tres yoduros y un isonicotinato de etilo/metilo que coordina al cobre a través del átomo de nitrógeno del grupo piridínico (Figura 11). Cuando estos compuestos son excitados a 25°C, con una radiación ultravioleta de longitud de onda $\lambda = 380$ nm producen una fuerte emisión de luz amarilla a 567 nm (compuesto con isonicotinato de etilo) y de luz naranja a 585 nm (isonicotinato de metilo) (Figuras 12 y 13). Estos sencillos experimentos los realizarán los estudiantes en presencia de la lámpara de UV utilizada en la sesión anterior.

Las propiedades de emisión de los polímeros de coordinación están generalmente controladas por un gran número de factores, incluyendo propiedades electrónicas del ligando y del ión metálico y longitud de los enlaces de coordinación.^[18] Para saber a qué pueden ser debidas estas emisiones a 567 nm para el $[\text{CuI}(\text{EtIN})]_n$ y 585 nm para el $[\text{CuI}(\text{MeIN})]_n$ se compara su espectro con el del ligando libre (isonicotinato de etilo (EtIN) o isonicotinato de metilo (MeIN)). Los ligandos no presentan luminiscencia (presentan tres bandas muy débiles por debajo de 500 nm), esto hace pensar que las bandas de emisión que presentan los compuestos a 567 y 585 nm, respectivamente son debidas a una transición de transferencia de carga entre el yodo y el cobre presentes en los polímeros (Figura 13).

MATERIALES Y MÉTODOS

Tabla 1. Reactivos y material necesario para la realización de los experimentos

| Material | Reactivos | Reactivos |
|--|---|--|
| Lámpara UV | Fluoresceína | CuI |
| 3 vasos de precipitados de 250 mL | Aragonito u otros minerales fluorescentes | Isonicotinato de Etilo/Isonicotinato de Metilo |
| Dewar | Tónica | NaOH |
| Objetos fosforescentes | Barritas luminiscentes | $\text{CH}_3\text{CN}/\text{EtOH}$ |
| Espátula, placa filtrante, viales 20 mL/. Probeta 15-20mL. | Nitrógeno líquido (opcional)/ Hielo/ NaCl | Lejía. $\text{H}_2\text{O}_2(30\%)$ |
| Balanza | Luminol | |
| Papel pH (opcional) | | |

Disolución de fluoresceína

Se puede suspender unos miligramos de esta sustancia en unos 25 mL de agua. También se puede alcalinizar esta disolución hasta pH 7 con una disolución 0.1 M de NaOH.

Reacción Quimioluminiscente del luminol en presencia de un agente oxidante

Se preparan dos disoluciones:

- Disolución A: 100 mg de Luminol y 4g de NaOH en aproximadamente 1L de agua.
- Disolución B: 10% de lejía comercial en agua.
- Un recipiente para hacer la mezcla.
- La disolución B, puede realizarse también con a) 10 ml de peróxido de hidrógeno al 30% en 490 ml de agua destilada, o b) ferricianuro potásico ($\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]$) y peróxido de hidrógeno o agua oxigenada (H_2O_2).

Nota: Todas estas soluciones es conveniente mantenerlas refrigeradas.

Síntesis del $[\text{CuI}(\text{EtIN})]_n$

160 mg de Isonicotinato de etilo (EtIN) se añaden sobre una solución de 200 mg de Cu en 12 mL CH_3CN a 25 °C. De forma inmediata se forman cristales amarillos del polímero. La mezcla se filtra mediante una placa filtrante y los cristales se lavan con etanol, secándose al aire. El rendimiento es de un 72% (basado en el cobre).

Síntesis del $[\text{CuI}(\text{MeIN})]_n$

Sobre una suspensión de CuI (220 mg) en 15 mL de acetonitrilo, se añade isonicotinato de metilo (MeIN) (135 μL). De forma inmediata la disolución toma un color amarillo apareciendo un precipitado naranja. La mezcla se agita unos minutos y el sólido se filtra, lavándose con 10 ml de etanol y secándose al aire. El rendimiento es de alrededor de un 50% (basado en el Cu).

Ciencia que se desarrolla en este trabajo

Los estudiantes de secundaria tienen asignaturas, como física y química en las que estudian y conocen conceptos como:

- Energía y Ondas.
- Materia y sus cambios: átomo, reacciones químicas, cálculos estequiométricos. Mezclas, sustancias puras, separación de mezclas.

Si el profesor decide elaborar una práctica relacionada con este trabajo, es aconsejable que los participantes estudien conceptos como: tipos de radiaciones electromagnéticas, la luz visible, luz ultravioleta y longitud de onda.

La cinética en las reacciones químicas, factores que afectan a la velocidad de las reacciones químicas.

Polímeros coordinación, compuestos cristalinos.

CONCLUSIONES

Con este trabajo pretendemos contribuir en la tarea vital (de inmensa relevancia) de extender los conocimientos

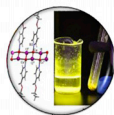
AÑO INTERNACIONAL DE LA LUZ



Creación de Vocaciones Científicas



Estudiantes/Profesores



Luz Fría. ¿Una bombilla dentro de la nevera?

Esquema 1. Conexión de este trabajo con el “Año internacional de la luz” y la divulgación

científicos a audiencias no especializadas a través de palabras, imágenes y talleres (Esquema 1).

La ciencia no pasa de moda, la luminiscencia entre otros fenómenos naturales, existe desde hace millones de años y sigue manteniéndose en el candelerero. Cualquier oportunidad es única para hacer llegar a los más jóvenes que las radiografías de rayos X, tomografías médicas, las pantallas de su televisor y de su ordenador, los sistemas de protección de las tarjetas de crédito, lámparas fosforescentes etc., tienen como nexo común algún tipo de material luminiscente...

También queremos participar en este año conmemorativo de la luz, dando a conocer las innovaciones realizadas en materia de iluminación (LEDs) con implicaciones sociales importantes como la reducción en el consumo energético y en contaminación lumínica.

Proponemos la síntesis sencilla de dos polímeros de coordinación luminiscentes, económicamente viables y con una gran variación en la luminiscencia a pesar de poseer estructuras muy similares, lo que permite entender como pequeños alteraciones en los compuestos generan grandes cambios en sus propiedades.

AGRADECIMIENTOS

Se agradecen las subvenciones recibidas por la Fundación Española de Ciencia y Tecnología (FCT-14-4488), la Real Sociedad Española de Química (Sección Territorial de Madrid), el Ministerio de Investigación y Ciencia MICINN (MAT2013-46753-C2-1-P y MAT2013-46502-C2-1 y 2-P) y la empresa NanoInnova Technologies (www.nanoinnova.com). A los doctorandos Khaled Hassanein y Javier Conesa y a los profesores Félix Zamora, Oscar Castillo y Salomé Delgado por su trabajo en los compuestos presentados en este artículo.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] *Libro de las Odas. Poemas de Shih Sanpai*. 1500-1000 a. C.
- [2] http://en.wikipedia.org/wiki/Eilhard_Wiedemann
- [3] <http://www.mcabiografias.com/app-bio/do/show?key=cascariolo-vincenzo>
- [4] <http://es.wikipedia.org/wiki/Luminiscencia>
- [5] B. D. Wilson, Kelvin and Stokes A Comparative Study in Victorian Physics, **1987**, ISBN 0-85274-526-5.
- [6] O. Shimomura, *Biol Bull.*, **1995**, 189 (1): 1.
- [7] W. C. Sun, K. R. Gee, D. H. Klaubert, R. P. Haugland, *J. Org. Chem.*, **1997**, 62 (19) 6469.
- [8] N. El Harrar, B. Idali, S. Moutaouakkil, M. El Belhadji, K. Zaghoul, A. Amraoui, M. Benaguida, *Presse medicale* **1996**, 25 (32): 1546.
- [9] R. Joseph, Lakowicz. Principles of Fluorescence Spectroscopy 3rd edition. Springer, **2006**. Chapter 2. page 5.
- [10] A. Dorndorp, F. Nosten, K. Stepniewska, *Lancet*, **2005**, 366 (9487): 717.
- [11] E. Huntress, L. Stanley, A. Parker, *J. Am. Chem. Soc.*, **1934**, 56 (1): 241.
- [12] Videos Universidad Nottingham Prof. Poliakoff, relacionados con la cinética de las reacciones químicas y la temperatura.
- [13] <http://clickmica.fundaciondescubre.es/recursos/unidades-didacticas/33-unidades-didacticas/255-reacciones-luminiscentes>
- [14] a) J. Stuart, E. Paul, S. P. Sutton, *Principles of Bloodstain Pattern Analysis*. **2005** Boca Raton, London, New York, Singapore: Taylor and Francis Group. p.376. b) <http://cluster-divulgacion-cientifica.blogspot.com.es/2012/03/quimioluminiscencia-3-luminol.html>.
- [15] K. Hassanein, S. Delgado, O. Castillo, J. Conesa-Egea, S. Benmansour J. I. Martínez, G. Abellán C. J. Gómez-García, F. Zamora, and P. Amo-Ochoa, *Chem. Eur. J.*, **2015**, (aceptado).
- [16] Estructura polimérica que contiene un centro basado en un catión metálico unido a ligandos orgánicos, pueden extenderse en una, dos o tres dimensiones en el espacio.
- [17] (a) E. Cariati, X. H. Bu and P. C. Ford, *Chem. Mater.*, **2000**, 12, 3385. (b) D. M. Ciurtin, N. G. Pschirer, M. D. Smith, U. H. F. Bunz and H. C. zur Loye, *Chem. Mater.*, **2001**, 13, 2743. (c) F. Wurthner and A. Sautter, *Chem. Commun.*, **2000**, 445.
- [18] (a) H. A. Habib, A. Hoffmann, H. A. Hoppe, G. Steinfeld, C. Janiak, *Inorg. Chem.* **2009**, 48, 2166. (b) V. W. W. Yam, K. M. C. Wong, *Chem. Commun.*, **2011**, 47, 11579. (c) S. Soom-Min, J. H. Kim, J. Y.-Park, H. H. Le, *Applied Physics Letters*, **2005** 87, 183503. (d) E. Najafi, M. M. Amiri, E. Mohajenari, M. Janhouiri, H. Razavi, H. Khavasi, *Inorg. Chem. Acta*, 2013, 339, 119725.