

$$\left(M + \frac{1}{3}m\right) \frac{d^2(\Delta z_M)}{dt^2} + k(\Delta z_M) = 0$$

De donde se deduce la ecuación diferencial del movimiento de la masa M :

$$\frac{d^2(\Delta z_M)}{dt^2} = -\omega^2 \Delta z_M;$$

$$\text{con } \omega^2 = \frac{k}{M + m/3}$$

Se trata de la conocida ecuación del movimiento armónico simple de periodo:

$$T = \frac{2\pi}{\omega} = 2\pi \sqrt{\frac{M + m/3}{k}}$$

Tabla III. Comparación entre los valores del periodo teórico y experimental

k (N/m)	m (g)	T_{exp} (s)	$T_{\text{teórico}}$ (s)	Error (%)
1.68	45.7	1.302	1.280	-1.7
1.87	41.1	1.226	1.200	-2.1
2.10	36.6	1.142	1.120	-1.9
2.37	32.0	1.058	1.042	-1.5
2.74	27.4	0.966	0.958	-0.9
3.31	22.9	0.873	0.861	-1.4
4.11	18.3	0.771	0.763	-1.0
5.41	13.7	0.660	0.657	-0.5

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{M + m/3}{k}}; \quad M = 54,5 \text{ g}$$

CONCLUSIÓN

El experimento que acabamos de examinar pone en evidencia una de las características más interesantes de los experimentos caseros: la de poder estudiar diferentes aproxima-

ciones teóricas a un fenómeno real con una economía grande de medios experimentales.

Manuel Yuste Llandres
y Carmen Carreras Béjar
Dpto. de Física de los Materiales

Es decir, este periodo verifica la ecuación (3):

$$\frac{kT^2}{4\pi^2} = M + m/3$$

aunque hay que hacer notar que la pendiente α de la representación gráfica que correspondería a la de la Figura 2 resulta ser 1/3 en lugar de 0,40. La diferencia que se aprecia entre teoría y experimento es debida, sin duda, a la hipótesis que hemos hecho sobre la igualdad de la fuerza ejercida sobre cada una de las espiras del resorte. No obstante, el modelo propuesto se ajusta bastante bien al experimento ya que el acuerdo entre el periodo obtenido con la fórmula teórica y el determinado experimentalmente coinciden, con un error inferior al 2% (ver Tabla III).

de los láseres de colorantes. Se discuten los fundamentos fisicoquímicos en que se basan estas aplicaciones, dedicando especial atención a los estudios experimentales de interés histórico que precisaron la naturaleza de las bandas de absorción electrónicas que son responsables del color que presentan los colorantes en disolución. En relación con estos problemas básicos, se comenta la posibilidad de realización de experimentos prácticos de laboratorio adecuados para los alumnos.

ANTECEDENTES HISTÓRICOS

El índigo, un colorante azul, fue uno de los primeros colorantes que conoció el hombre. Se usa desde hace 4.000 años, y su preparación se ha encontrado descrita en escritura sánscrita. Fue utilizado también en el antiguo Egipto para colorear las telas en las que las momias eran envueltas, y aún se sigue utilizando, aunque obtenido de forma sintética, para teñir los vaqueros.

El primer colorante artificial fue preparado por el químico inglés Perkin en 1855 de forma casual, al experimentar con un residuo aparentemente inservible del alquitrán de hulla, un subproducto de la Revolución Industrial que entonces se generaba en grandes cantidades. La sustancia que obtuvo recibió el nombre de mauveína por su bello color malva, y estimuló el interés de los químicos por sintetizar colorantes que rivalizaran con los colorantes naturales utilizados en exclusiva hasta entonces, que eran principalmente el índigo, de color azul, y la alizarina, de color rojo. Los nuevos colorantes artificiales revolucionaron la industria textil y despertaron la mayor admiración en la Exposición Universal de Londres celebrada en 1862. Su fabricación se convirtió en la base de la industria química de Alemania, que deseaba liberarse de la dependencia económica de los países que ejercían el monopolio de los colorantes naturales, especialmente Gran Bretaña y Francia.

Experimento histórico

Colorantes: de la microscopía a los láseres

RESUMEN

Se presenta un estudio acerca de la importancia de los colorantes químicos, desde su utilización tradicio-

nal en microscopía para la tinción de tejidos biológicos, hasta desarrollos recientes relacionados con el estudio de sistemas microheterogéneos y con las aplicaciones técnicas

En 1873, el bacteriólogo alemán Weigert tuvo la idea de aplicar los nuevos colorantes sintéticos para teñir las preparaciones microscópicas, y así visualizar mejor los gérmenes de enfermedades y los tejidos afectados. Sus experimentos fueron satisfactorios y abrieron nuevos horizontes a la exploración histológica. Mediante numerosos ensayos empíricos, en los que destacó el alemán Ehrlich, se descubrió que determinados colorantes eran particularmente eficaces para observar estructuras celulares concretas. Por ejemplo, el azul de metileno es adecuado para el tejido nervioso, la fucsina para el bacilo de Koch productor de la tuberculosis, los colorantes de cianina para las mitocondrias, etc. De hecho, la afinidad de los colorantes de tinción por determinados tejidos celulares es tan alta que a Ehrlich se le ocurrió que al fijarse de modo selectivo podrían actuar como una "bala mágica" que curase determinadas enfermedades sin perjudicar al paciente. Esta idea dio lugar al desarrollo de la moderna Quimioterapia.

Además de las importantes aplicaciones prácticas que los colorantes sintéticos tuvieron desde los primeros momentos, estas sustancias posibilitaron también descubrimientos básicos relacionados con su estructura molecular, que se comentarán a continuación.

FUNDAMENTOS BÁSICOS

Las moléculas de colorantes tienen como característica general que su estructura presenta una sucesión de átomos de carbono entre los que se establecen enlaces simples y enlaces dobles alternados, que es lo que se denomina un sistema de dobles enlaces conjugados.

El sistema de dobles enlaces conjugados es el responsable de la absorción de luz en el intervalo visible del espectro, que está comprendido entre 400 y 700 nm, aproximadamente. Según cuál sea la longitud de onda concreta a la que se realice la absorción, la sustancia transmitirá el resto de la radiación que no ha

absorbido, y por tanto presentará un color característico. Este fenómeno depende de la estructura detallada del conjunto de átomos absorbentes, que recibe el nombre de grupo *cro-móforo*, palabra griega que significa "portador de color". El color observado depende también de que existan otros grupos atómicos diferentes del cromóforo, que intensifican o modifican la absorción de éste. Tales grupos se denominan *auxo-cromos*, o sea, auxiliares del color.

En una molécula de colorante, la región electrónica capaz de absor-

ber los fotones de luz visible suele ser bastante extensa, lo que justifica que la absorción sea muy intensa, y por tanto se requiera sólo una concentración muy pequeña para poder observar el color.

Los colorantes se pueden clasificar atendiendo a los núcleos fundamentales de los que deriva su estructura molecular. Se tienen así colorantes de trifenilmetano, de acridina, de tiazina, de xanteno, de cianina, etc. También se puede atender a las propiedades ácidas o básicas de sus moléculas. Los colorantes ácidos, llamados tam-

Tabla I. Estructura química de algunos colorantes

Mauveína	
Azul de metileno	
Fucsina	
Criptocianina	
Naranja de acridina	

bién aniónicos, contienen grupos tales como el sulfónico o el carboxilo, y forman sales al combinarse con bases. Los colorantes básicos, llamados también catiónicos, suelen contener átomos de nitrógeno y forman sales al combinarse con ácidos.

Debido a su estructura, la molécula de colorante puede presentar una verdadera afinidad química con regiones específicas de los tejidos celulares, lo que facilita su fijación a dichas regiones, revelándolas a la observación microscópica. De ahí el interés por seleccionar el colorante más adecuado para cada tipo de observación de los componentes celulares.

MECANISMOS DE VARIACIÓN DEL COLOR

Al precisar las condiciones de utilización de los colorantes, se observó que el color que producen estas sustancias dependía de diferentes factores. En primer lugar, es importante la distribución de los grupos auxocromos dentro de la molécula. Por ello, los químicos pueden precisar la tonalidad exacta del colorante introduciendo dichos grupos en posiciones específicas, con métodos propios de la síntesis química. Además, en las disoluciones acuosas de ciertos colorantes influye la acidez o alcalinidad del medio, que condiciona el grado de protonación de la molécula de colorante. Al cambiar el pH, el cromóforo en conjunto se altera por efecto de la adición o pérdida de un protón y se produce un cambio de color claramente observable. Este hecho impulsó las aplicaciones de dichos colorantes como indicadores en las valoraciones ácido-base.

Lo que resultaba más difícil de explicar era que también influya la variación de la concentración del colorante, no solamente en la disolución preparada para la tinción, sino también en la muestra en la que se acumulaba el colorante. Así, resulta especialmente llamativo que ciertos colorantes catiónicos sean capaces de teñir tejidos celulares específicos con un color diferente del que tiene la disolución del propio colorante. Esta

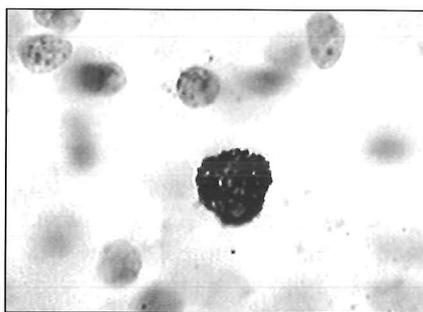


Figura 1. Metacromasia del azul de toluidina. El color azul del colorante cambia a púrpura en ciertos tejidos celulares sometidos a tinción.

propiedad fue descubierta en 1879 por Ehrlich, que la denominó *metacromasia*, o sea transformación del color, y pronto demostró tener gran interés citoquímico (figura 1). Ejemplos típicos son colorantes catiónicos tales como el azul de metileno, el azul de toluidina y el violeta cristal.

El fundamento fisicoquímico de la metacromasia permaneció desconocido durante bastante tiempo, hasta que encontraron una pista segura algunos químicos alemanes e ingleses, que eran los más interesados tradicionalmente en las propiedades de los colorantes, debido a la importancia de estas sustancias en la industria química de sus respectivos países. La explicación requería poner en juego algunos conceptos básicos de la espectroscopía electrónica de absorción.

En general, la dependencia del espectro de absorción de un soluto con la concentración se rige por la ley de Lambert-Beer, que establece que la absorbancia es directamente proporcional a la concentración. Al aumentar la concentración, tanto la posición como la forma de las bandas de absorción deben permanecer esencialmente invariables. Las desviaciones a este comportamiento se atribuyen principalmente a la formación de complejos entre las moléculas disueltas, que es un fenómeno que afecta a la concentración efectiva de las especies absorbentes.

En el caso concreto de los colorantes, el color que presentan en disolución está condicionado por el estado de agregación de sus moléculas. Cuando las moléculas del colorante se asocian entre sí para produ-

cir especies más complejas, el sistema de niveles electrónicos de los enlaces conjugados se altera y la luz se absorbe en otra zona del espectro diferente a la de la molécula aislada. Este fenómeno provoca un cambio de color claramente observable.

El mecanismo por el que las moléculas se agregan unas con otras no está totalmente aclarado y muy probablemente difiere según cuál sea la sustancia de que se trate. El químico alemán Scheibe estudió los colorantes de la familia de las cianinas, comprobando que sus moléculas llegaban a formar especies poliméricas de cierta longitud. Estas agregaciones moleculares no se producían al azar, sino que obedecían a una organización específica. Así Michaelis, el célebre co-descubridor de la ley básica de la cinética enzimática, interpretó en 1947 los cambios de color del azul de toluidina en disolución acuosa y los cambios espectrales correspondientes en términos de la formación de dímeros y polímeros de las moléculas del colorante. En el límite de concentraciones altas se puede llegar a formar un gel semisólido, detectable por una nueva banda de absorción, como habían revelado los trabajos de Jelley en 1936 y de Scheibe en 1937. Esta nueva banda, designada con el nombre de banda J, aparecía a longitud de onda más alta, y por tanto correspondía a un tránsito de menor energía, que las bandas de absorción de las especies más sencillas. Se interpretó que este tránsito se efectuaba entre orbitales electrónicos que implicaban a varias moléculas a la vez y que estaban orientados perpendicularmente a los planos de dichas moléculas. En otras palabras, la agregación había dado lugar a una nueva especie electrónica.

Dado que las moléculas de los colorantes contienen grupos cromóforos relativamente extensos, son capaces de interactuar fuertemente y se produce el desdoblamiento de los niveles electrónicos, apareciendo bandas nuevas correspondientes a las especies asociadas. En moléculas más pequeñas, con cromóforos menos extensos, la interacción es más débil y no afecta a la



Figura 2. Reacción de termocrómismo y fotocromismo en el espiropirano.

posición de las bandas de absorción, sino solamente a su intensidad.

Existen sustancias en las que se observa un cambio de color con la temperatura denominado *termocromismo*. Éste se debe a cambios en la estructura química del colorante favorecidos por la temperatura y de carácter reversible. El mismo efecto se consigue en determinadas sustancias por la absorción de luz, en cuyo caso hablamos de *fotocromismo*. Ambos, termocromismo y fotocromismo, se dan por ejemplo en el espiropirano que no es coloreado, pero por absorción de luz o de calor se transforma en una sustancia púrpura, y vuelve a ser no coloreado cuando se enfría o se pone en la oscuridad.

LAS MOLÉCULAS QUE EMITEN LUZ

Hasta ahora hemos hablado de sustancias coloreadas en las que el color que observamos corresponde a la región del espectro visible que no absorben. Simplificándolo podríamos decir que vemos la luz que ellas

no quieren. Pero existen otras sustancias que presentan color debido a un fenómeno de emisión que se denomina fluorescencia. Éstas son generalmente hidrocarburos poliaromáticos o heterociclos y se denominan fluoróforos o colorantes fluorescentes.

La fluorescencia se produce como resultado de tres procesos que se resumen en el diagrama de Jablonski simplificado que aparece en la figura 3.

El proceso que hemos denominado 1 es la excitación: Un fotón suministrado por una fuente de iluminación externa produce un estado electrónico excitado (S_1'). El proceso 2 supone la permanencia durante un determinado tiempo (del orden de los nanosegundos) en el estado excitado. Durante este tiempo el fluoróforo puede utilizar esa energía para producir cambios conformacionales, o puede interactuar con el entorno, disipando así parcialmente la energía del estado excitado, por lo que se puede producir el tránsito a un estado relajado (S_1), desde el cual se origina la fluorescencia, que es el proceso 3.

En realidad el esquema que hemos presentado es muy simplificado, ya

que no todas las moléculas excitadas en el proceso 1 vuelven al estado fundamental (S_0) mediante emisión fluorescente; existen otros procesos, como las colisiones con otras moléculas, los procesos de transferencia de energía, los cruces entre sistemas, etc., que se deben sumar a los antes descritos. En la emisión fluorescente se emite un fotón de energía $h\nu_{EM}$ de forma que la molécula vuelve a su estado fundamental (S_0). Debido a los procesos de disipación que ocurren en el proceso 2, la energía de este fotón es menor que la del fotón incidente, por lo que la emisión se produce a mayor longitud de onda. Por esta razón muchas sustancias que no son coloreadas a simple vista, sí muestran color cuando se excitan con una longitud de onda adecuada.

La fluorescencia es un proceso muy rápido; esto significa que al cesar la excitación, casi instantáneamente (en un tiempo del orden de los nanosegundos) cesa también la emisión, por lo que para observar la fluorescencia debemos mantener a las moléculas excitadas (irradiadas con una luz de longitud de onda adecuada). A pesar de esto, sus importantes aplicaciones justifican que nos hayamos detenido en este fenómeno y en concreto nos podemos centrar en dos: (i) la utilización de sondas y marcadores fluorescentes y (ii) el láser de colorante. De ellas nos vamos a ocupar a continuación.

SONDAS Y MARCADORES FLUORESCENTES

Una sonda o marcador fluorescente es un fluoróforo designado a localizarse en una región específica de un sistema complejo, proporcio-

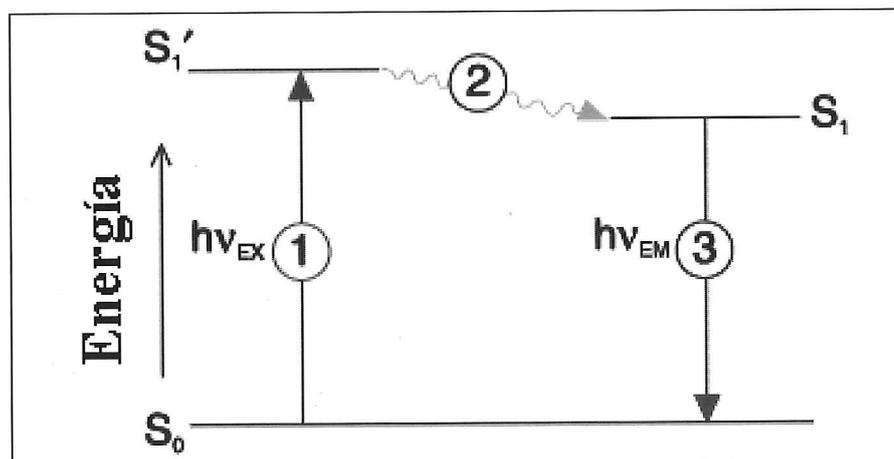


Figura 3. Diagrama simplificado de las transiciones electrónicas en los procesos de absorción y emisión fluorescente.

nando así información acerca de su entorno. Se diferencian en que la sonda se difunde por el medio de estudio mientras que el marcador se ancla químicamente a él. Cuando hablamos de un sistema complejo nos referimos a un medio en el que podemos encontrar varios tipos de microentornos, como ocurre por ejemplo en las células o los tejidos biológicos. Estos fluoróforos se caracterizan por tener afinidad por una región concreta del sistema, proporcionando información sobre el medio que les rodea, y en este sentido actúan igual que los colorantes tradicionales que se emplean para la tinción de tejidos, aunque suelen ser mucho más sensibles.

Hemos dicho que las sondas y marcadores fluorescentes son muy sensibles al entorno. Esto significa que detectan cambios fisicoquímicos en el medio. Por ejemplo pueden ser sensibles a la *polaridad del disolvente*. Esta característica la presentan los cromóforos que tienen momentos dipolares grandes en estado excitado, por lo que cuando están en disolventes polares se produce un desplazamiento de la fluorescencia hacia longitudes de onda mayores. Un ejemplo son los aminonaftalenos como el prodan, el badan o el dansilo. Este tipo de sondas se utilizan por ejemplo para localizar dentro de la célula determinadas proteínas.

Existen otros que son sensibles al pH del medio. La dependencia con el pH se debe a que la protonación produce una reconfiguración de los electrones π . Estos cambios se traducen en una variación del espectro de fluorescencia. Las hidroxycumarinas y la fluoresceína son otros ejemplos de este tipo de fluoróforos, esta última se emplea por ejemplo en ensayos bioquímicos para detección de células apoptóticas y necróticas. La apoptosis es la muerte celular programada y es un proceso necesario para mantener el equilibrio en un sistema biológico, por lo que su estudio está permitiendo profundizar en el conocimiento sobre el origen de muchas enfermedades como el cáncer o el SIDA.

Otra de las ventajas del uso de trazadores fluorescentes es que, cuando se introducen dos o más sondas, se puede conseguir marcar diferentes zonas de un sistema (por ejemplo diferentes regiones de una célula). Para ello se seleccionan sondas que absorben a la misma longitud de onda pero con bandas de emisión estrechas y separadas entre sí (figura 4). De esta forma un solo experimento proporciona información sobre dos tipos diferentes de microentornos.

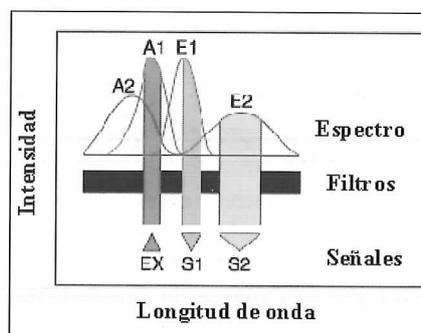


Figura 4. Detección fluorescente de especies mezcladas. La excitación (EX) se realiza a una longitud de onda en la que los espectros de absorción (A1 y A2) de ambas especies están solapados, dando lugar a dos espectros de emisión E1 y E2. Se utilizan unos filtros para seleccionar las regiones S1 y S2 que son las emisiones observadas.

En muchos casos para observar las muestras preparadas con sondas o marcadores se utilizan Microscopios de Epifluorescencia, con los que es posible detectar selectivamente las zonas de la muestra donde el trazador se ha depositado, observando la luz emitida. Por tanto son diferentes a los microscopios ópticos tradicionales, que operan por transmisión. Otra técnica empleada es la Microscopía Confocal de Barrido Láser que se fundamenta en la captura selectiva de la iluminación perfectamente enfocada en un punto. La intensidad de fluorescencia emitida por cada unidad de área es captada por un fotomultiplicador, y su señal analógica es convertida en digital. Estos datos se procesan en un ordenador y se consigue así una imagen virtual digitalizada de la muestra.

Las ventajas que presenta esta técnica frente a la microscopía óptica (o de epifluorescencia) tradicional son que: 1) pueden observarse tejidos intactos, así como secciones gruesas sin necesidad de hacer cortes histológicos, 2) se obtiene un aumento notable en la resolución, 3) se reduce el blanqueo de la fluorescencia y 4) permite hacer reconstrucciones tridimensionales más precisas, de mejor calidad y en menor tiempo que por otros métodos.

A pesar de que estas técnicas fueron desarrolladas para investigación en histología o biología, recientemente han sido adoptadas por otras disciplinas como la ciencia de materiales. La razón es que cada vez más se diseñan materiales compuestos o con estructuras supramoleculares, a los que podemos denominar sistemas complejos debido a la heterogeneidad de su microestructura. Parece pues evidente que las técnicas que han resultado adecuadas para estudiar tejidos o células sirvan también para ellos y así se ha demostrado. En la figura 5, por ejemplo, se muestra una micrografía de epifluorescencia de una mezcla de dos polímeros, poliacetato de vinilo (PVAC) y polivinilalcohol (PVA), en la que la fluorescencia se consigue mediante la adición de antraceno como sonda. Se observan con claridad los microdominios de PVA (círculos brillantes) en la matriz homogénea de PVAC sobre la que se sitúa el antraceno, cuya emisión es de color azul intenso, por lo que aparece más oscura.

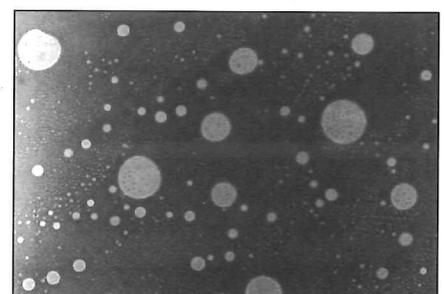


Figura 5. Micrografía de epifluorescencia de una mezcla de PVA y PVAC utilizando antraceno como sonda.

LÁSERES DE COLORANTE

En los láseres de colorante el medio activo es una disolución de una sustancia fuertemente fluorescente. La excitación se produce mediante una lámpara pulsada o con otro láser continuo o pulsado. El calor que produce la absorción de luz en la disolución de colorante puede afectar mucho al sistema, ya que genera cambios locales de la densidad y por consiguiente crea corrientes de convección; al mismo tiempo puede producir variaciones en la eficiencia de la radiación fluorescente. Para evitar ambos problemas la disolución de colorante no está estática. Es bombeada desde un depósito hacia una célula de flujo, que es donde se produce la emisión estimulada.

En la figura 6 se puede ver el esquema de una configuración típica de un láser de colorante. El filtro F1 está diseñado para dejar pasar la luz desde la fuente láser hasta la célula de flujo por donde fluye la disolución de colorante, pero también refleja completamente la fluorescencia que emite ésta. Lógicamente el láser utilizado para excitar debe emitir luz con una longitud de onda que corresponda a una región del espectro que

pueda ser absorbida por las moléculas de colorante, pues sólo de esta forma puede producirse la fluorescencia. El filtro F2 refleja la luz de la fuente láser y también refleja casi toda la fluorescencia estimulada que se emite desde la célula de flujo, aunque deja pasar una pequeña cantidad de luz de salida, que es la que se observa como emisión del láser.

Los espectros de emisión de un colorante corresponden a una banda ancha de longitudes de onda. Por esta razón en los láser de colorante podemos seleccionar la longitud de onda de emisión dentro de este intervalo. Para ello basta con colocar un sistema de difracción (prisma o red) a la salida. Otra ventaja de estos sistemas es que, con apenas unos cuantos colorantes, podemos conseguir abarcar todo el espectro de la radiación visible (ver Tabla II).

Además de los señalados en la Tabla II existen otros colorantes que emiten en la región espectral del ultravioleta o del infrarrojo, de forma que el intervalo de longitudes de onda abarcable por este tipo de sistema va desde 400 nm hasta 1.000 nm por lo que se emplean en muchas aplicaciones médicas y científicas.

Tabla II. Algunos colorantes empleados para conseguir emisión láser

Colorante	Disolvente	Intervalo de longitudes de onda (nm)
9 Oxacina	Etanol	644-709
Rodamina B	Agua-HFIP ^a	580-655
Rodamina 6G	Agua-HFIP ^a	450-605
9 Cumarina	Etanol acidificado	430-530
Salicilato de sodio	Etanol	395-418

^a Hexafluoroisopropanol.

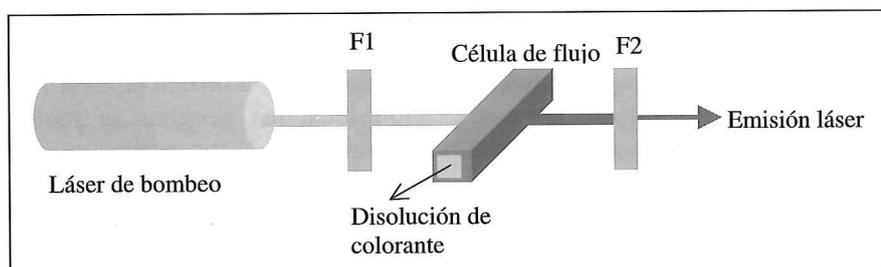


Figura 6. Configuración de un láser de colorante.

EXPERIENCIAS DIDÁCTICAS

Algunos conceptos básicos de la estructura molecular de los colorantes se revisan en un ejercicio de laboratorio que se realiza actualmente por los alumnos de nuestro Departamento. Los objetivos que se pretenden son los siguientes: aprender a manejar un espectrofotómetro de diseño sencillo, medir el espectro visible de absorción en absorbancia y transmitancia, e interpretar los resultados experimentales obtenidos con la ayuda del modelo cuántico de la partícula en una caja de potencial, que permite predecir la posición del máximo de absorción. El colorante que se estudia es la criptocianina (ioduro de 1,1'-diethyl-4,4'-carbocianina) y puede obtenerse de diversos fabricantes. El coste inicial del producto está más que compensado por el interés científico del experimento y por el pequeño consumo que se realiza en cada sesión de trabajo.

Algunas posibles extensiones del experimento básico son las siguientes:

- Estudio de una familia de colorantes de cianina. Se determina la dependencia de la longitud de onda del máximo de absorción con la longitud de la cadena de dobles enlaces conjugados, y los resultados experimentales se contrastan con las predicciones del modelo de la caja de potencial.
- Estudio de la agregación. Se determinan las diferencias entre los espectros de absorción de las especies monoméricas, diméricas y poliméricas.
- Estudio comparativo del espectro de absorción y el espectro de fluorescencia. Se pretende ilustrar el principio básico de que el espectro de fluorescencia aparece desplazado hacia longitudes de onda más altas que el correspondiente espectro de absorción.

BIBLIOGRAFÍA**Obras generales**

- F.A. Matsen, R.S. Becker y D.R. Scott, en W. West, ed., "*Chemical applications of Spectroscopy*", Wiley - Interscience, New York, 2.^a ed. (1968), pág. 310.
- O. Svelto, "*Principles of Lasers*", Plenum Press, New York, 3.^a ed. (1989), pág. 331.
- K. Nassau "*The Physics and Chemistry of Color. The fifteen Causes of Color*", John Wiley & Sons, New York, 1.^a ed. (1983).

Referencias de interés histórico

- P. de Kruif, "*Cazadores de microbios*", Salvat, Barcelona (1986), pág. 330.

- S.E. Sheppard, Proc. Roy. Soc. (London), **A82**, 256 (1909).
- E.E. Jelley, Nature, **138**, 1009 (1936).
- G. Scheibe, Angew. Chem., **50**, 51 (1937).
- L. Michaelis, Cold Spring Harbor Symp. Quant. Biol., **12**, 131 (1947).
- H. Kuhn, J. Chem. Phys., **17**, 1198 (1949).

Referencias de interés actual

- S. Blumentritt, M. Burghard, S. Roth y H. Nejo, Surface Science, **397**, 280 (1998).
- R.F. Khairutdinov y N. Serpone, J. Phys. Chem., **101**, 2602 (1997).
- I.F. Piérola, T.Z. Atvars, C. Salom, M.G. Prolongo, en "*Polymeric Materials Encyclopedia*", vol. 8,

CRC Press, Boca Raton (1996), pág. 6362.

Prácticas de laboratorio

- S. Senent, A. Hernanz, M.C. Izquierdo, R. Navarro, F. Peral y M.D. Troitiño, "*Técnicas instrumentales fisicoquímicas*", UNED, Madrid (1990), pág. 522.
- M.L. Horng y E. L. Quitevis, J. Chem. Ed., **77**, 637 (2000).
- F. Walmsley, J. Chem. Ed., **69**, 583 (1992).
- J.J. Farrell, J. Chem. Ed., **62**, 351 (1985).

Carmen S. Renamayor
y Fernando Peral
Dpto. de Ciencias y Técnicas
Fisicoquímicas

NUEVAS TECNOLOGÍAS EN ENSEÑANZA**La enseñanza de Cristalografía y Mineralogía en la UNED**

Antes de enunciar los objetivos que intenta cubrir la docencia de la Cristalografía y Mineralogía en la UNED, es necesario analizar las posibilidades lectivas reales que, en el marco del plan de estudios actual, se ofrecen al profesor y al alumno, para que éste llegue, mediante el proceso de aprendizaje, al dominio teórico y práctico de la materia lectiva perteneciente a este área de conocimiento.

Según el Plan actual de estudios de la Licenciatura en Ciencias Químicas de la UNED (Plan de Estudios de Primer Ciclo, aprobado por Orden de 31 de octubre de 1973, BOE 275 de 16 de noviembre de 1973 y el Plan de Estudios de Segundo Ciclo de 1976, BOE 193 de 12 de agosto de 1976, Orden de 26 de abril de 1985, BOE de 14 de mayo de 1985, que se limita a modificaciones parciales de cuarto

curso) la asignatura *Geología (Cristalografía y Mineralogía)* es de carácter anual y de primer curso. Posteriormente, con la creación de las áreas de conocimiento, fue adscrita al área de Cristalografía y Mineralogía, y le fueron atribuidos doce créditos lectivos. Es la única asignatura de toda la licenciatura relacionada con la Geología. En ella se cursan disciplinas geológicas: Cristalografía, Mineralogía y Petrología, que muy probablemente sea la primera vez que se introducen en la mente del alumno.

La transmisión a los alumnos de unos conocimientos tan amplios y variados como los tratados por este área de Conocimiento es una tarea ardua. Más todavía si ello ha de hacerse en un tiempo realmente escaso, como es un curso. Se ha hecho necesario tomar conciencia de esta limitación esencial desde el

primer momento para no caer en la tentación de programar un método de enseñanza irreal, por utópico. Además, las particularidades del método de enseñanza a distancia, aunque no afectan al programa de la asignatura, sí lo hacen sobre los materiales didácticos y actividades docentes.

MÉTODO DIDÁCTICO

En el profesor de la UNED adquiere especial relevancia su función como organizador de las estrategias de aprendizaje como elaborador de materiales cuyos contenidos científicos deberá adecuar, adaptar y transmitir a la situación específica del estudiante a distancia. Esta función didáctica peculiar se realiza con la ayuda de los medios puestos a disposición, tanto del profesor como del alumno: material escrito, material audiovisual y multimedia, radio, televisión, videoconferencia, convivencias y el campus telemático.