

Identificació de l'hemoglobina mitjançant quimioluminescència

Chemiluminescent identification of hemoglobin

Josep Centelles i Santiago Imperial / Universitat de Barcelona. Facultat de Biologia. Departament de Bioquímica i Biologia Molecular



resum

L'objectiu principal d'aquest treball pràctic de laboratori, dirigit als estudiants de batxillerat, és poder identificar l'hemoglobina, entre altres compostos que es podrien trobar a l'escena d'un crim: albúmina, glucosa o lleixiu. Per això s'utilitzen dues reaccions: la reacció de Bradford, que identifica les proteïnes (hemoglobina i albúmina), i la reacció del luminol, que dóna positiu per l'hemoglobina i també pel lleixiu. Aquest resultat ens permet, a més, discutir l'existència d'interferències a les reaccions químiques.

paraules clau

Albúmina, determinació de proteïna, hemoglobina, luminescència, luminol, treball pràctic de química.

abstract

The aim of this laboratory practical work, which is directed towards high school students, is to distinguish among four different samples which could that can be found in a crime scene: albumin, glucose, hemoglobin and bleach. Two reactions are used: the luminol reaction (positive for bleach and hemoglobin) and the Bradford reaction (which allows identification of both proteins: hemoglobin and albumin). The luminol reaction can also be used also to discuss about interferences found in chemical reactions.

keywords

Albumin, protein assay, hemoglobin, luminescence, luminol, chemistry practical work.

Introducció

En aquest article es pretén descriure la tasca que realitzem a «Il·lumina l'escena del crim», una pràctica que es va dissenyar per ser realitzada pels estudiants de secundària que assisteixen a «Fem química al laboratori».

L'activitat docent «Fem química al laboratori» s'organitza a la Facultat de Química de la Universitat de Barcelona amb l'objectiu de potenciar en els estudiants de batxillerat l'interès per la ciència en general i pel món de la química en particular. Es pretén contribuir a la formació de l'estudiant en el treball de laboratori, tot

posant al seu abast els recursos dels laboratoris de la Facultat, i aprofitar l'activitat per informar i formar les noves generacions sobre els aspectes positius de la química i les seves repercussions en la vida quotidiana.

La química forense és una branca de la química que analitza, classifica i determina la naturalesa dels elements i les substàncies relacionats amb els fets delictius. En química forense, és habitual l'anàlisi de taques de sang, fluids corporals, cabells, fibres, ADN i verins. El fet de realitzar activitats de laboratori en el context de la química foren-

se esdevé, generalment, una bona manera d'interessar l'alumnat i de mostrar el paper de la química en casos detectivescos i policials. Són freqüents a la literatura o als mitjans de comunicació personatges de ficció basats en Sherlock Holmes, com ara el detectiu Conan dels *manga* (Conan Edogawa) o el doctor Gregory House de la sèrie de televisió, en la qual és molt habitual que es parli de la prova del luminol, una prova d'identificació d'hemoglobina per quimioluminescència que constituirà l'eix vertebrador d'aquest article i del treball pràctic que s'hi proposa.

Luminescència

Si un sòlid que s'escalfa a temperatures elevades emet llum, es diu que el sòlid es torna incandescent i el procés s'anomena *incandescència*. De forma anàloga, la matèria pot emetre llum després d'irradiar-la amb energia i, en aquest cas, es parla de *luminescència*. Segons el tipus d'energia utilitzada per irradiar la matèria, el procés d'emissió de llum s'anomena *fotoluminescència* (energia lumínica), *electroluminescència* (energia elèctrica), *termoluminescència* (calor), *triboluminescència* (fricció), *crystal·loluminescència* (com a resultat d'una cristal·lització) o *quimioluminescència* (reacció química).

La bioluminescència és l'emissió de llum dels sistemes biològics. Aquest procés bioquímic és una quimioluminescència basada, principalment, en la reacció catalitzada per l'enzim luciferasa. El substrat de la luciferasa és la luciferina, que posseeix diferents estructures químiques segons l'organisme bioluminescent en qüestió. Com a exemple, vegeu les estructures a) i b) de la fig. 1. La reacció de la luciferasa en a) utilitza un benzotiazole com a luciferina, mentre que en b) utilitza la coelenterazina (una imidazopirazina) com a luciferina. La luciferasa converteix la luciferina en oxiluciferina en estat excitat, a través dels intermediaris peròxid i dioxetanona. En retornar a l'estat fonamental, l'oxiluciferina emet llum.

L'evolució ha adaptat la bioluminescència per ser utilitzada com a camuflatge, per atreure o repel·lir altres éssers vius o per permetre la comunicació entre individus d'una mateixa espècie. El tipus de bioluminescència que generen els organismes es classifica com a bioluminescència intracel·lular, extracel·lular o en simbiosi. La bioluminescència intracel·lular es genera dins les cèl·lules especialitzades en els organismes pluricel·lulars i la

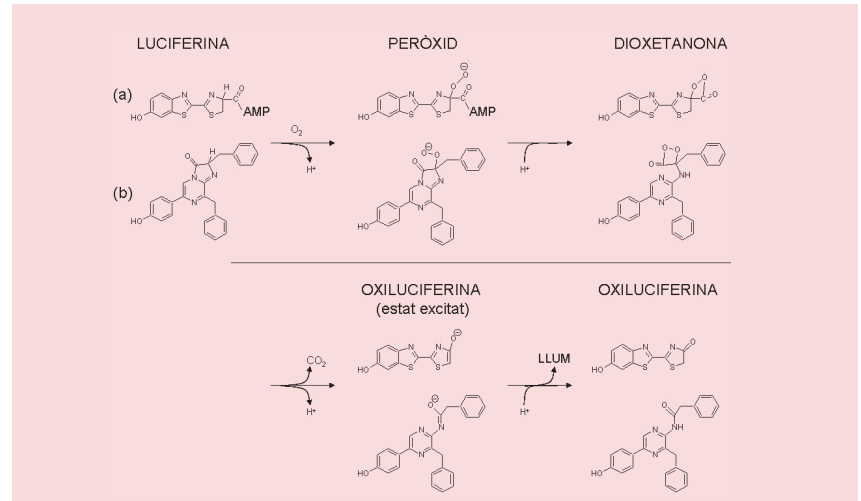


Figura 1. Reacció de la luciferasa en a) *Photuris lucicrensis* i b) *Renilla reniformis*.

Taula 1. Química i color de la bioluminescència en diversos organismes

Organisme luminescent	Luciferines	màx. (nm)
Bacteris (<i>Photobacterium</i> ; <i>Vibrio</i>)	FMNH ₂ ; RCHO	495-500
Dinoflagel·lats (<i>Gonyaulax</i> ; <i>Pyrocystis</i>)	Tetrapirrole	475
Cnidaris (<i>Aequorea</i> ; <i>Renilla</i>)	Coelenterazina (imidazopirazina)	460-490
Anèl·lids (<i>Diplocardia</i>)	N-isovaleril-3-aminopropanal; H ₂ O ₂	500
Mol·luscs (<i>Latia</i>)	Formiat d'enol; aldehid terpènic o aromàtic	500
Crustacis (<i>Vargula</i> ; <i>Cypridina</i>)	Imidazopirazina	465
Insectes (<i>Photinus</i> ; <i>Photuris</i>)	(Benzo)tiazole; ATP; Mg ²⁺	560

llum s'emet cap a l'exterior (a través de la pell) o s'intensifica amb materials reflectants, com els cristalls d'urat de les cuques de llum o les plaques de guanina d'alguns organismes marins. En la bioluminescència extracel·lular, en canvi, la luciferina i la luciferasa s'emmagatzemen en glàndules que les secreten a l'exterior de l'organisme tot produint núvols lluminosos. La bioluminescència més freqüent és la que es produeix per simbiosi amb bacteris luminescents, en la qual són aquests bacteris els que es disposen en petits porus dels animals, anomenats *fotòfors*.

Moltes espècies de calamars i de dinoflagel·lats (en especial, els del gènere *Protoperidinium*) presenten bioluminescència intracel·lular. Alguns crustacis i cefalòpodes abissals presenten

bioluminescència extracel·lular. Altres animals marins, com els celenteris, cucs, mol·luscs, equinoderms i peixos, presenten simbiosi amb bacteris luminescents.

En aquest sentit, la bioluminescència es basa en l'oxidació d'una molècula senzilla (luciferina) per l' O_2 , la qual, a través d'uns intermediaris (peròxid, dioxetanona), forma un producte que es troba en un estat electrònic excitat (oxiluciferina). Aquesta reacció està catalitzada pels enzims anomenats *luciferases*. El producte decau a l'estat fonamental i emet llum. Les luciferines varien segons les espècies (taula 1), però moltes d'elles són compostos heterocíclics que reaccionen amb O_2 per formar un peròxid cíclic, el qual es descompon alliberant CO_2 (fig. 1).

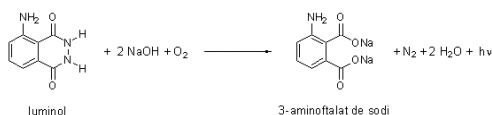
En aquesta pràctica, estudiarem la quimioluminescència deguda a la reacció química del luminol, que es descriu a continuació en el cas de l'hemoglobina (fig. 2). La base d'aquesta reacció és la mateixa que la catalitzada per les luciferases, però funciona sense catalitzador.



Figura 2. Quimioluminescència de l'hemoglobina amb el luminol.

Fonament de la reacció del luminol

En medi bàsic i en presència d'oxigen, el luminol s'oxida a 3-aminofolat excitat, que, en passar a l'estat fonamental, emet luminescència:



La dismutació del peròxid d'hidrogen (H_2O_2) està catalitzada en medi bàsic en presència d'un oxidant, tal com mostra l'expressió següent:



La reacció de dismutació de l'aigua oxigenada és lenta en medi bàsic, però ràpida en presència d'un oxidant (per exemple, Fe^{3+}). La metahemoglobina (que conté Fe^{3+}) és capaç d'activar la reacció del luminol i de generar luminescència (fig. 2). Altres complexos coordinats al Fe^{3+} [com ara l'ió complex hexacianoferrat (III), $[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{3-}$] també poden catalitzar la reacció. Les proteïnes que no contenen Fe^{3+} (com l'albumina), però, no donen aquesta reacció.

Proteïnes

Les proteïnes són polímers d'aminoàcids que tenen una determinada funció dins de l'organisme. La proteïna més abundant a la sang és l'albumina. Aquesta proteïna col·labora en el manteniment de la pressió osmòtica de la sang, s'encarrega del transport dels principals components dels lípids de la dieta (els àcids grassos) als teixits i, a més, proporciona al cos els aminoàcids que necessita en casos de malnutrició. Les proteïnes del sèrum de la sang són l'albumina (la majoritària) i les globulines (α -, β - i γ -globulines). Les immunoglobulines (Ig) són γ -globulines. L'albumina és capaç d'unir i de transportar àcids grassos, tal com es veu a la fig. 3.

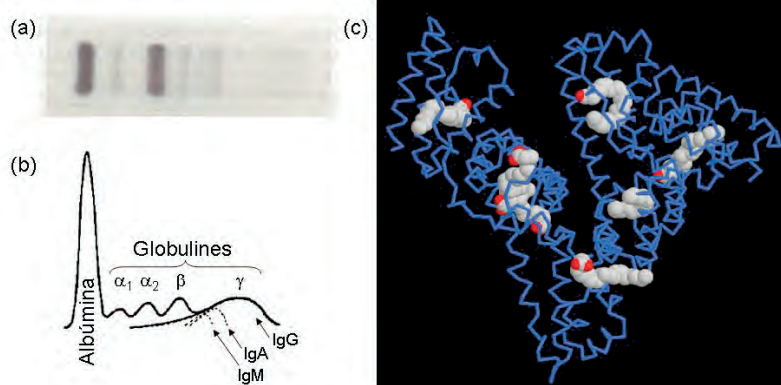


Figura 3. a) Electroforesi de les proteïnes del sèrum sobre acetat de cel·lulosa, on s'observen les bandes de proteïnes tenyides amb blau de Coomassie G-250; b) densitometria d'una electroforesi de les proteïnes del sèrum; c) estructura de l'albumina. Protein Data Bank ID: 1gnj.

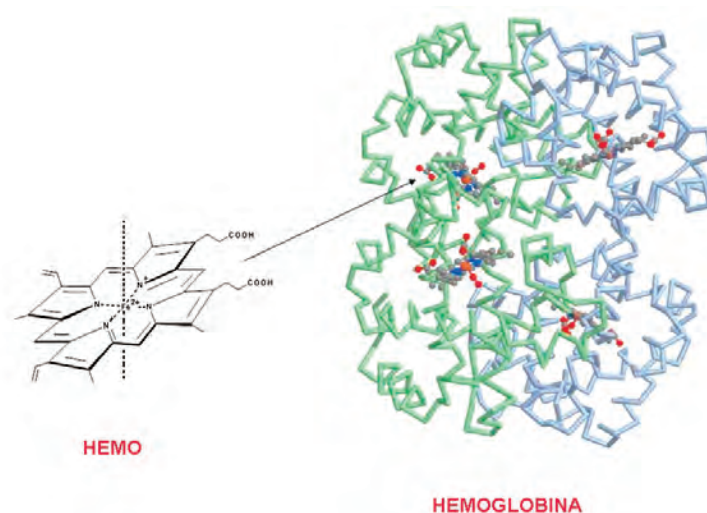


Figura 4. Estructura de l'hemoglobina humana (una proteïna amb quatre subunitats iguals dues a dues: α 2 β 2). Protein Data Bank ID: 1hho.

Una altra proteïna amb una funció molt important a la sang és l'hemoglobina. L'hemoglobina es localitza a les cèl·lules vermelles de la sang (eritròcits) i s'encarrega de transportar l' O_2 dels pulmons als teixits i el CO_2 dels teixits als pulmons. L'hemoglobina conté un grup hemo- coordinat a un catió Fe^{2+} . De fet, és aquest Fe^{2+} el que s'uneix amb l' O_2 i el CO_2 i els transporta (fig. 4).

El grup hemo- protegeix el catió Fe^{2+} i evita que s'oxidi a Fe^{3+} . Això no obstant, alguns agents oxidants poden oxidar-lo i llavors l'hemoglobina amb Fe^{3+} (anomenada metahemoglobina) perd la capacitat de coordinar l' O_2 . A l'eritròcit, un enzim (la NADH metahemoglobina reduc-

tasa) permet reduir la metahemoglobina i recuperar l'hemoglobina activa. Quan ens fem una ferida i perdem sang, els eritròcits es trenquen i alliberen la seva hemoglobina, que és oxidada a metahemoglobina per l'acció de l'oxigen de l'aire.

Atesa la importància de les proteïnes en els éssers vius, s'han desenvolupat nombrosos mètodes per determinar el contingut proteic d'una mostra biològica, entre els quals es troba la reacció de Bradford.

Fonament de la reacció de Bradford

Un dels mètodes més utilitzats per determinar la quantitat de proteïna d'una mostra és el de Bradford. Aquest mètode es basa en la unió en medi àcid d'un colorant, el blau de Coomassie G-250 (fig. 5), amb les proteïnes. Aquesta unió provoca una variació espectral del color bru del colorant (màxim d'absorbància: 465 nm) a la forma blava (màxim d'absorbància: 610 nm). El desenvolupament del color blau està associat al contingut d'aminoàcids bàsics (arginina, histidina i lisina) de la proteïna, mentre que el nombre de molècules del blau de Coomassie G-250 que s'hi uneixen depèn del nombre de càrregues positives que conté la proteïna. A partir de la mesura d'absorbància a 595 nm, és possible determinar la concentració, però a simple vista ja es pot detectar la presència o l'absència de proteïna.

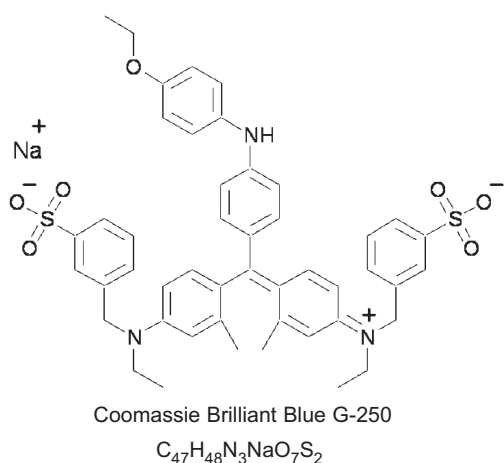


Figura 5. Estructura del colorant Coomassie Brilliant Blue G-250.

Un treball pràctic per identificar hemoglobina

L'anàlisi més freqüent a l'escena d'un crim és la detecció de sang. Per fer aquesta anàlisi, habitualment es fa servir el mètode del luminol. El lleixiu (solució d'hipoclorit de sodi, NaClO), un preparat que a vegades s'utilitza per netejar l'escena del crim, també dona positiu a causa del seu caràcter oxidant.

Aquest treball pràctic consisteix a identificar la mostra que conté hemoglobina entre quatre mostres (albúmina, glucosa, hemoglobina i lleixiu). Tal com ja hem indicat, la sang conté diverses proteïnes (entre elles, l'albúmina i l'hemoglobina) i glucosa (C₆H₁₂O₆). L'hemoglobina donarà positiu amb la reacció del luminol, mentre que els altres components de la sang no donaran positiu, perquè no contenen el catió Fe³⁺.

Procediment experimental

Preparació de la solució bàsica de luminol

Per dur a terme aquesta reacció, cal barrejar:

- 50 mL d'una solució bàsica de luminol
(0,4 g luminol + 3 g NaOH en 50 mL d'aigua).
- 50 mL de solució d'H₂O₂ al 3 % (aigua oxigenada al 3 %).

Preparació de la solució de Bradford

La solució de Bradford es prepara diluint amb aigua el reactiu comercial 1:5:

- 10 mL de reactiu comercial (solució de blau de Coomassie G-250 10 mg/L en etanol al 5 % i àcid fosfòric al 8,5 %).
- 40 mL d'aigua.

Es disposa de quatre mostres en solució (mostra 1, mostra 2, mostra 3 i mostra 4) que contenen un dels compostos següents: albúmina (1 mg/mL), glucosa (1 mg/mL), hemoglobina (1 mg/mL) i lleixiu comercial (3 % p/v).

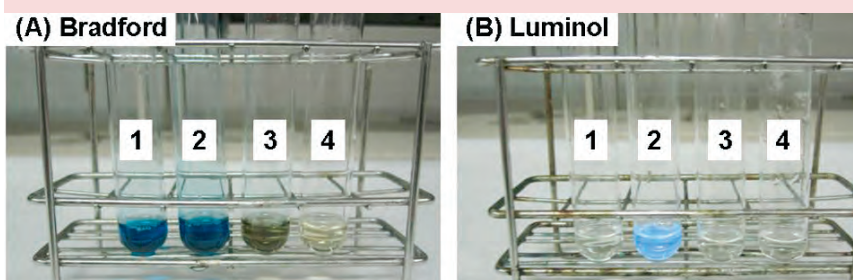
1) Es preparen quatre tubs d'assaig amb 1 mL del reactiu de Bradford diluït. S'hi introdueixen: a) 100 μ L de la mostra 1; b) 100 μ L de la mostra 2; c) 100 μ L de la mostra 3, i d) 100 μ L de la mostra 4.

2) Es preparen quatre tubs d'assaig amb 1 mL de la solució bàsica de luminol. S'hi introdueixen: a) 100 μ L de la mostra 1; b) 100 μ L de la mostra 2; c) 100 μ L de la mostra 3, i d) 100 μ L de la mostra 4.

Resultats

1) Es tornaran de color blau aquelles mostres que continguin proteïnes: hemoglobina i albúmina. Per tant, les mostres 1 i 2, que contenen l'albúmina i l'hemoglobina, respectivament, donaran positiu a la reacció de Bradford (A).

2) Donaran positiu l'hemoglobina i el lleixiu. No obstant això, la luminescència de la mostra d'hemoglobina dura molt més temps; a la mostra 2 s'observa la quimioluminescència de l'hemoglobina (B).



Identificació de l'hemoglobina: a) reacció de Bradford, i b) reacció del luminol.

Per facilitar la tasca dels alumnes, durant la pràctica es pot repartir una fitxa amb una taula que contingui els resultats esperats (fig. 6) i una altra taula buida per tal que l'omplin i dedueixin el que conté cadascuna de les mostres.

Preguntes i respostes

En acabar el treball experimental, es proposen als alumnes algunes qüestions. Tot seguit s'indiquen les qüestions proposades i les corresponents respostes:

1. Per què ha d'estar complexat el Fe^{3+} perquè funcioni la reacció del luminol? Què passaria si s'afegeix una solució de FeCl_3 sobre la solució bàsica del luminol?

Com que la solució de luminol té un pH bàsic (es prepara amb NaOH), en addicionar Fe^{3+} , que no està complexat, precipita el $\text{Fe}(\text{OH})_3$ i no s'observa la luminescència.

2. Si en una escena del crim haguéssim netejat les taques de sang amb lleixiu, donaria positiu la reacció del luminol?

Com que el lleixiu dona positiu a la reacció del luminol, si en una escena del crim haguéssim netejat les taques de sang amb lleixiu, la reacció del luminol donaria positiu, tot i que no perduraria tant la luminescència.

3. En què es basen les barres de llum que es poden veure en algunes festes nocturnes? Són luminescents?


Les barres de llum es basen en dues solucions separades per una paret. En doblegar una barra de llum, es trenca la paret que separa les dues solucions, que reaccionaran entre si. Quan es barregen les dues solucions, té lloc una reacció quimioluminescent similar a la que es veu en l'experiment realitzat.

4. Creus que la proteïna de la llet (caseïna) donaria positiu en la reacció del luminol? I amb el reactiu de Bradford?

La proteïna de la llet (caseïna), de la mateixa manera que l'albumina, donaria negatiu amb la reacció del luminol i positiu amb la reacció de Bradford.

Per fer la detecció de sang a l'escena del crim, habitualment es fa servir el mètode del luminol. El lleixiu, un preparat que a vegades s'utilitza per netejar l'escena del crim, també dona positiu a causa del seu caràcter oxidant

Il·lumina l'escena del crim. Detecció d'hemoglobina per luminescència



Disposem de quatre mostres en solució que contenen un dels compostos següents:

- Albúmina.
- Glucosa.
- Hemoglobina.
- Lleixiu.

Utilitzant les dues tècniques, hem de ser capaços d'identificar les mostres.

Ara comencem a investigar:
 Marqueu amb (+) si observeu luminescència o coloració blava.
 Marqueu amb (-) si no observeu luminescència o coloració blava.

	Mostra 1	Mostra 2	Mostra 3	Mostra 4
1) Prova del luminol				
2) Reacció de Bradford				
Component				

Recordeu:

	Albúmina	Glucosa	Hemoglobina	Lleixiu
1) Prova del luminol	-	-	+	+
2) Reacció de Bradford	+	-	+	-








Figura 6. Fitxa de la pràctica «Il·lumina l'escena del crim. Detecció d'hemoglobina per luminescència».

Interferències en la reacció del luminol

El lleixiu decolora el reactiu de Bradford. No reacciona amb aquest reactiu de la mateixa manera que ho fan les proteïnes, per la qual cosa no apareix el color blau. Per això no es pot dir que el lleixiu interfereixi en la reacció de Bradford.

En canvi, el lleixiu produeix luminescència en tractar-lo amb luminol i, per tant, interfereix en la reacció de detecció d'hemoglobina amb el luminol. Per aquest motiu, el fet que una mostra doni positiu amb el luminol no implica necessàriament que contingui hemoglobina.

La reacció del luminol s'activa també en presència d'altres espècies coordinades al Fe^{3+} [com ara l'hexacianoferrat (III), $[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{3-}$], que també catalitzen la reacció. Es pot comprovar que, en barrejar 1 mL de la solució de luminol amb 100 μL de la solució 1 mg/mL de $[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{3-}$, s'observa també luminescència.

Utilització de les micropipetes

En el treball pràctic per identificar hemoglobina es treballa amb quantitats de mostra molt petites i en el procediment descrit s'utilitzen micropipetes. Per aquest motiu, i atès el fet que l'ús de les micropipetes potser no sigui gaire freqüent als centres de secundària, es donen alguns detalls de les característiques i del funcionament de les micropipetes.

Una micropipeta presenta una finestra on es pot observar el volum que es vol pipetejar, una roda per fixar el volum i per fer funcionar l'èmbol, el lloc on s'ha de fixar la punta i un mecanisme d'expulsió de puntes (fig. 7).

Les micropipetes mesuren els volums a partir del desplaçament d'aire d'un èmbol que contenen al seu interior. És clar, doncs, que les condicions de pressió atmosfèrica, de gravetat i de viscositat de la mostra poden afectar la mesura del volum. Per això, com més vertical es pipeteja i com més a prop es fa de la superfície del líquid, més exacte és el volum mesurat per la micropipeta.

Les puntes de les micropipetes solen ser blanques per a volums d'1 a 10 μL , grogues per a volums de 10 a 200 μL i blaves per a volums de 200 a 1000 μL . Es fixa el volum que es vol pipetejar fent girar la roda de l'èmbol. Seguidament, es prem el botó de l'èmbol fins a la primera posició. En prémer el botó, l'èmbol expelleix el mateix volum d'aire que s'ha fixat. En el pas següent, se submergeix la punta de la micropi-

Utilització d'un serpenti per observar la luminescència amb la mostra d'hemoglobina

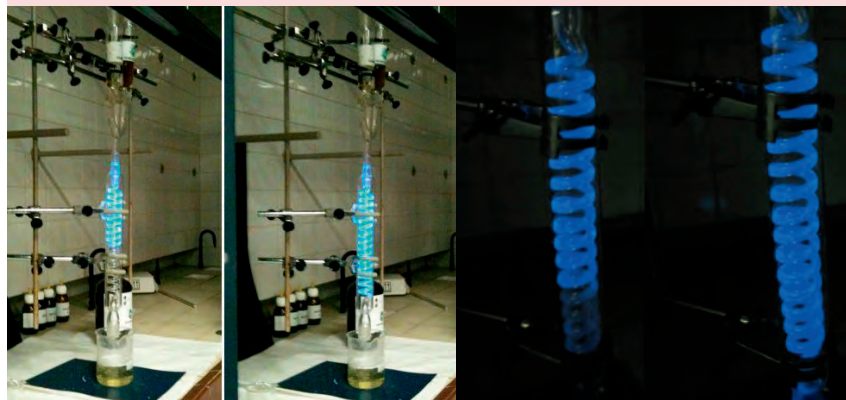
Per tal de complementar l'activitat pràctica presentada, es proposa la realització de l'anomenada *reacció del luminol* utilitzant un muntatge que permet posar de manifest la quimioluminescència d'una manera força espectacular.

Procediment

S'utilitza un muntatge que consta de dos embuts d'addició a) i b) connectats a un serpenti. Els embuts d'addició contenen:

- 25 mL de la solució bàsica de luminol amb H_2O_2 .
- 25 mL de la solució 1 mg/mL d'hemoglobina bovina.

S'obren les claus dels dos embuts d'addició a) i b), que barregen el seu contingut dins del serpenti, i s'observa la luminescència.



Luminescència observada amb el pas del temps en addicionar hemoglobina i reactiu de luminol dins un serpenti.

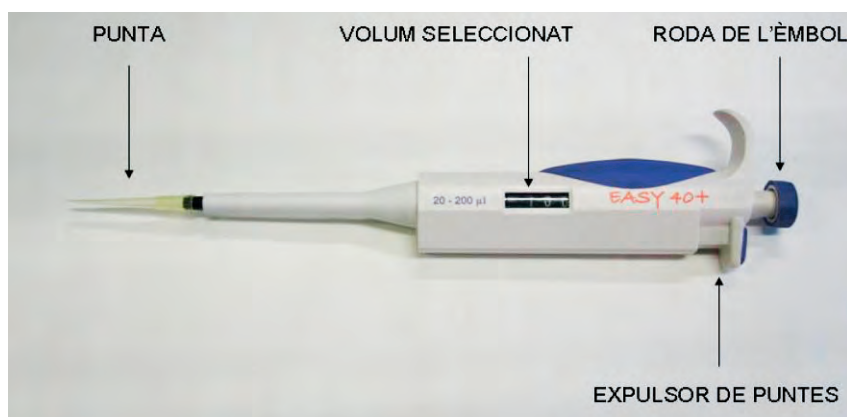


Figura 7. Una micropipeta.

queta dins el líquid i s'allibera lentament el botó. Això crea un buit parcial, amb la qual cosa s'aspira el volum fixat del líquid dins de la punta de la micropipeta. Aquest volum es transfereix a un altre recipient prement completament el botó de la micropipeta (segona posició).

Per tal de minimitzar l'error de mesura, cal submergir poc la punta en el líquid i mantenir la posició vertical. La fig. 8 mostra tres maneres de col·locar la micropipeta, entre les quals la millor és la c). Si la pipeta se submergeix poc en el líquid (fig. 8a), l'error és menor que si la pipeta se submergeix més en

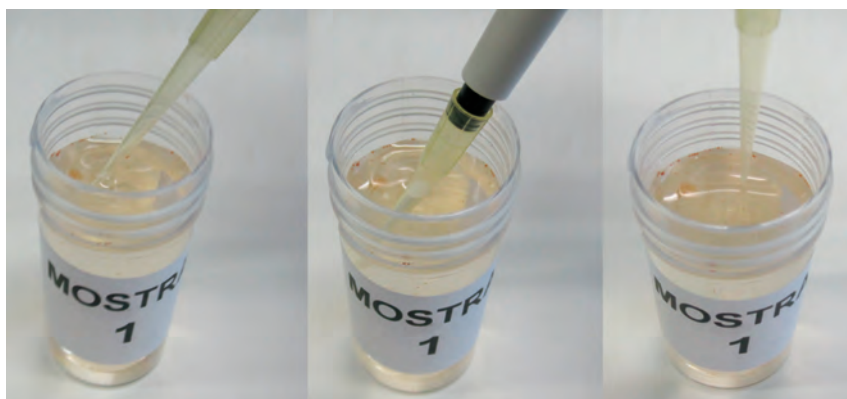


Figura 8. Efecte de la posició de la micropipeta: a) inclinada i poc submergida; b) inclinada i més submergida, i c) en posició vertical i poc submergida.

el líquid (fig. 8b), però l'error més petit s'obté quan la pipeta se submergeix poc en el líquid i en posició vertical (fig. 8c).

Conclusions

La pràctica presentada en aquest article es va incorporar a les sessions «Fem química al laboratori» del curs 2009-2010 i, des d'aleshores, gràcies a la seva bona acceptació, ha estat inclosa dins de les pràctiques més sol·licitades pel professorat.

Durant el darrer curs 2010-2011, «Il·lumina l'escena del crim» ha rebut una molt bona valoració tant per part dels mil un estudiants de batxillerat que van passar pel laboratori (4,44 sobre 5) com també per part dels quaranta professors que els van acompanyar (4,67 sobre 5), tal com indiquen les enquestes realitzades.

Concretament, es valora molt positivament l'interès que despertten els experiments en els estudiants, el fet que sigui una pràctica força participativa i que es relacioni l'experiència de laboratori amb fets i aplicacions que es poden trobar a la vida quotidiana.

Les referències al Protein Data Bank de les fig. 3 i 4 es poden localitzar a la pàgina web http://www.rcsb.org/pdb/101/structural_view_of_biology.do (RCSB Protein Data Bank-101: An educational resource for exploring a structural view of biology).

Referències bibliogràfiques

- BARNIA, F.; LEWIS, S. W.; BERTIA, A.; MISKELLYC, G. M.; LAGO, G. (2007). «Forensic application of the luminol reaction as a presumptive test for latent blood detection». *Talanta*, 72(3): 896-913.
- BRADFORD, M. (1976). «A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein dye-binding». *Anal. Biochem.*, 72: 248-254.
- CASTELLÓ, A. (2009). *Manual de química forense: Hic locus est ubi scientia gaudet succurrere justitiae*. Granada: Comares, p. 165-186
- CENTELLES, F. A. [et al.] (2011). *Fem química al laboratori. Recull d'experiments*. Barcelona: Publicacions i Edicions de la Universitat de Barcelona, p. 119-125.
- COATES, M. L. (1975). «Hemoglobin function in the vertebrates: An evolutionary model». *J. Mol. Evol.*, 6(4): 285-307.
- HASTINGS, J. W. (1996). «Chemistries and colors of bioluminescent reactions: A review». *Gene*, 173: 5-11.
- JOHLL, M. E. (2008). *Química e investigación criminal*. Barcelona: Reverté.
- NELSON, D. L.; COX, M. M. (2005). *Lehninger. Principios de bioquímica*. 4a ed. Barcelona: Omega.
- O'HARA, P. B.; ENGELSON, C.; ST. PETER, W. (2005). «Turning on the light: Lessons from luminescence». *J. Chem. Educ.*, 82(1): 49-52.



Josep J. Centelles Serra

És professor titular de bioquímica i biologia molecular a la Universitat de Barcelona. Es va doctorar en química per la Universitat de Barcelona l'any 1986 i ha realitzat diverses estades al Max-Planck-Institut de Dortmund (Alemanya) i a altres centres de recerca d'Europa i dels Estats Units. La seva tasca es divideix entre la docència i la recerca. El seu camp de recerca és l'estudi del metabolisme aplicat al càncer.

A. e.: josepcentelles@ub.edu



Santiago Imperial Rodenas

És professor titular de bioquímica i biologia molecular a la Universitat de Barcelona. Es va doctorar en química per la Universitat de Barcelona l'any 1986, va fer una estada postdoctoral al CNRS de Villejuif (França). Actualment imparteix classes en els graus de química, bioquímica i biotecnologia de la Universitat de Barcelona i dirigeix projectes de recerca orientats al desenvolupament de nous fàrmacs contra la malària.

A. e.: simperial@ub.edu

En l'àmbit docent, ambdós autors han participat en les jornades «Fem química al laboratori», organitzades per la Facultat de Química de la Universitat de Barcelona. Són membres del grup d'innovació docent de la Universitat de Barcelona QISU (Química a la Interfase Secundària-Universitat), que és una via de relació entre la Facultat de Química de la Universitat de Barcelona i els centres d'ensenyament secundari.