



S'ha comès un crim: aplicació de la tècnica d'espectrofotometria visible com a anàlisi forense

Emma Martínez López
Institut Baix Empordà, Palafrugell
emartinez2@insemporda.cat

Àngels Olivella Costa
Institut Baix Empordà, Palafrugell
molivel6@xtec.cat

Citar com: Martínez, E. i Olivella, A. (2025). S'ha comès un crim: aplicació de la tècnica d'espectrofotometria visible com a anàlisi forense. *Ciències: Revista del professorat de primària i secundària*, (49), 14 – 19. <https://doi.org/10.5565/rev/ciencies.518>

Resum • Mitjançant aquesta pràctica l'alumnat de secundària (4t ESO) i batxillerat podrà entendre els principis bàsics de l'espectrofotometria visible amb un cas pràctic d'un crim fictici on hi haurà dues proves claus: un suc de pinya i una taca de sang. L'espectrofotometria visible és la tècnica que mesura la llum absorbida per una mostra en el rang de l'espectre visible (390-750 nm). Cada mostra colorejada presenta una espectre d'absorbància diferent que el diferencia de la resta.

Paraules clau • espectrofotòmetre visible, longitud d'ona, espectre, absorbància, color, criminalística.

A crime has been committed: application of the visible spectrophotometry technique as forensic analysis

Abstract • Through this practice, secondary (4th ESO) and high school students will be able to understand the basic principles of visible spectrophotometry with a practical case of a fictitious crime where there will be two key tests of evidence: a pineapple juice and a blood stain. Visible spectrophotometry is the technique that measures the light absorbed by a sample in the range of the visible spectrum (390-750 nm). Each colored sample has a different absorbance spectrum that differentiates it from the rest.

Keywords • visible spectrophotometer, wavelength, spectrum, absorbance, color, criminalistics

INTRODUCCIÓ

La radiació electromagnètica és un conjunt d'ones que es propaguen per l'espai i es caracteritzen per un component elèctric i un de magnètic. La radiació electromagnètica es classifica en funció de la seva longitud d'ona (Figura 1). L'espectre visible que és la regió que l'ull humà es capaç de percebre, comprèn longituds d'ona (λ) des dels 390 nm als 750 nm.

Aquesta franja anomenada "llum visible" té unes propietats ben definides:

- Es propaga al buit a la velocitat de $3 \cdot 10^8$ m/s
- Es propaga en línia recta.
- Es reflecteix quan arriba a una superfície reflectant
- Es refracta, quan passa d'un medi a un altre.
- En general, les substàncies transmeten, absorbeixen i reflecteixen la llum.

Cal destacar que quan la llum visible incideix sobre una mostra podem distingir entre la *radiació reflectida* que correspon al color visible d'una mostra; la *radiació absorbida* que és el color que absorbeix i que és el complementari del color que reflecteix i la *radiació transmesa* que és la radiació que traspasa el medi (en el nostre cas el vidre) i, per tant, és la màxima, ja que pel vidre traspasa la màxima quantitat de llum (Figura 2).

En conseqüència, si volem mesurar la quantitat de llum absorbida cal utilitzar la longitud d'ona en la qual absorbeix la llum de la solució acolorida.

Per entendre-ho millor amb un exemple: el color vermell; nosaltres el veiem vermell perquè l'ull només percep la llum vermella reflectida, però realment absorbeix el verd i el blau que són els colors complementaris. (Taula 1)

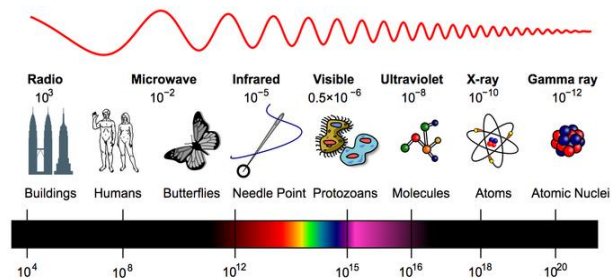


Figura 1. Espectre de radiació electromagnètica.

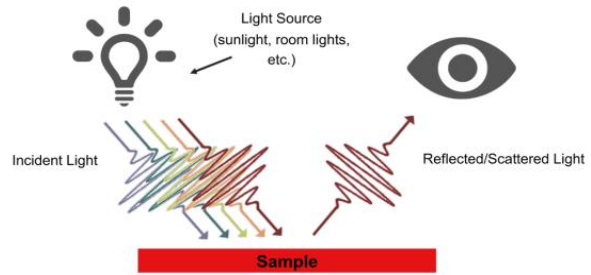


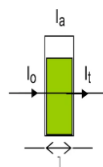
Figura 2. Diagrama de la percepció del color d'un objecte.

Longitud d'ona nm	Color de llum que absorbeix	Color de la llum que reflecteix
380 - 420	Violeta	Groc - verd
420 - 440	Blau - violeta	Groc
440 - 470	Blau	Taronja
470 - 500	Verd - blau	Vermell
500 - 520	Verd	Púrpura
520 - 550	Groc - verd	Violeta
550 - 580	Groc	Blau - violeta
580 - 620	Taronja	Blau
620 - 680	Vermell	Verd - blau
680 - 780	Púrpura	Verd

Taula 1. Longitud d'ona (λ) dels colors absorbits i reflectits per la mostra.

L'absorbància (A) és un paràmetre clau a l'hora de mesurar el percentatge de llum que absorbeix un color determinat i el definim com la mesura que indica la proporció de llum absorbida. És a dir, és la magnitud que compara la quantitat de llum que incideix en una substància, amb la quantitat de llum que absorbeix la mostra. La seva fórmula per a calcular-la és la següent:

$$A = -\log(I_t/I_0)$$



On:

I_t : és la quantitat de llum que surt de la cubeta que conté la mostra

I_0 : és la quantitat de llum que entra a la cubeta que conté la mostra.

La part de la molècula (dobles enllaços) responsable de l'absorció de la radiació en la regió visible s'anomena cromòfor.

APLICACIONS DE L'ESPECTROFOTOMETRIA VISIBLE

L'espectrometria visible té aplicacions en camps molt diversos, tots ells relacionats amb l'anàlisi del color.

Per exemple, el color en la indústria alimentària té molta importància i va més enllà de l'aspecte visual ja que està relacionat amb altres aspectes sensorials com l'aroma i el gust. Aquesta tècnica ofereix una eina econòmica i fàcil per verificar la qualitat d'un producte en base a l'anàlisi de l'espectre del color, si el producte està dins les especificacions, especialment per begudes com la cervesa, vi, sucres, refrescos, infusions, cafè, aigua i altres líquids.

A més a més, és una tècnica analítica que permet determinar la concentració d'un compost en la solució, com per exemple els polifenols, compostos orgànics químics molt beneficiosos per la salut i pel sistema cardiovascular, principalment presents en vi, infusions, verdures i fruites. També permet la detecció de nanopartícules de plata (Solís et al., 2023) i anàlisi de fosfats en aigües (Olivella et al., 2020).

Un altre cas pràctic d'aplicació és la diferenciació de la sang en base al seu espectre. El color de la sang és causat per la proporció i tipus d'hemoglobina presents en ella i és una proteïna que transporta l'oxigen i conté ferro. En una taca de sang recent es presenta com oxihemoglobina (HbO_2). En l'espectre visible l'oxihemoglobina es pot veure en un pic a aprox. a 415 nm, banda anomenada Soret. A mesura que la sang envellaix es torna de color marró i s'oxida a metahemoglobina (me-Hb) i seguidament a hemoglobina hemicrònica (HC) (Figura 3). Cada persona té un espectre d'absorció de la seva sang diferent, ja que la quantitat d'hemoglobina pot variar d'una persona a l'altra. Per tant, amb anàlisi de la sang mitjançant l'espectrofotòmetre visible no només podem identificar la persona en base al seu espectre sinó que també podem saber si la sang és recent o és més "vella" que vol dir que s'ha oxidat.

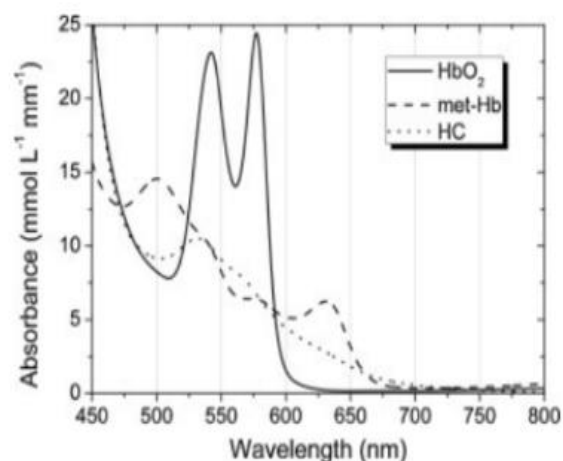


Figura 3. Espectre d'absorció dels tres derivats de l'hemoglobina. Font: Castillo i Salamanca, 2020.

OBJECTIUS

L'objectiu de la pràctica és que l'alumnat de secundària (4t ESO) i/o batxillerat tingui més coneixements sobre l'espectrofotometria visible i pugui dissenyar un crim fictici i resoldre'l en base a l'aplicació pràctica de la tècnica. Aquesta pràctica també es pot emmarcar en el treball de recerca de batxillerat.

Els agents que intervenen en el relat del crim i la seva resolució es poden distribuir els rols de diferents maneres:

- El docent planteja el repte a l'alumnat i és aquest el que el resol.
- Una part de l'alumnat planteja el repte a una altra part de l'alumnat que ha de resoldre el crim.
- L'alumnat prepara i resol el cas. És el que s'ha portat a terme per a escriure aquest article (en el context d'un TdR).

MATERIAL NECESSARI

El material necessari per dur a terme aquesta pràctica és:

- Espectrofotòmetre visible: L'espectrofotòmetre emprat disposa d'un rang de longitud d'ona de 325-740 nm i una precisió de ± 2 nm. El detector és un fotodiode de silici. És un aparell que habitualment no està present als instituts de

secundària però es pot sol·licitar a les universitats [1] i existeixen vídeos preparats de com utilitzar aquest aparell [2] (Figura 4).

- Mostres presents en l'escena del crim fictici: En el cas que es presenta, s'ha escollit suc de pinya i sang (Figura 5).
- Cubetes de quars de 5 ml (Figura 6).
- Xeringues
- Aigua destil·lada



Figura 4. Espectrofotòmetre visible ONDAV10 plus utilitzat en aquest estudi.



Figura 5. Mostres trobades en l'escena del crim fictici: suc de pinya i taca de sang.



Figura 6. Imatge de les cubetes de quars que s'han fet servir.

PROCEDIMENT

1. Disseny d'un crim fictici

En aquest apartat l'alumnat dissenyarà en forma de relat un crim fictici en el que intervinguin les mostres a l'escena del crim. Aquí es posa en joc la creativitat de l'alumnat a l'hora de construir un relat de crim fictici en el que s'han incloure les proves clau que ajudaran a resoldre el crim. Per tal de que les proves puguin ser analitzades amb l'espectrofotòmetre visible han de ser proves en color. En el cas que es presenta s'ha escollit que a l'escena del crim hi hagi una mostra de suc de pinya i una taca de sang però també es pot ser altres suc, tinta etc.

2. Anàlisi de les mostres per espectrofotometria visible

S'han seleccionat diferents suc de pinya i s'ha analitzat l'espectre d'absorbància de les mostres de suc. El suc de pinya reflecteix el color groc-verd i absorbeix el color violeta. Per tant s'han rastrejat les longituds d'ona des de 290 nm fins a 470 nm, de 10 nm en 10 nm. Abans de la mesura de cada longitud d'ona es farà el blanc per assegurar que l'absorbància és zero.

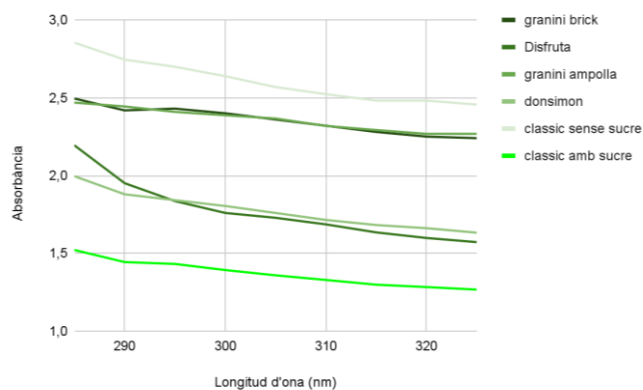


Figura 7. Cubetes amb les mostres de suc de pinya i la mostra de control (part superior) i espectre de diferents suc de pinya (0,5 ml suc + 3ml aigua) (part inferior).

Respecte la sang s'han pres tres mostres de sang de diferents animals proporcionades per una carnisseria i s'han analitzat igualment l'espectre simulant que son les mostres de sang dels sospitosos.

La sang, reflecteix el color vermell però absorbeix els colors entre el verd i el blau. Per això s'han rastrejat les longituds d'ona des de 450 nm fins a 750 nm, de 10 nm en 10 nm. De la mateixa manera que s'ha fet amb els suc de pinya, s'agafen 3 ml d'aigua destil·lada + 1 ml de sang i es posen en les cubetes de l'espectrofotòmetre (Figura 8).

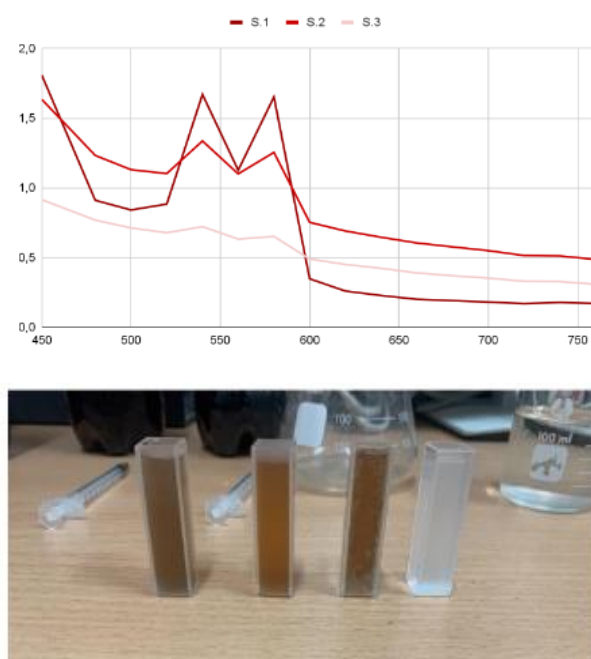


Figura 8. Espectre de diferents mostres de sang d'animal (1 ml sang + 3ml aigua destil·lada) (part superior). Cubetes amb les mostres de sang i la mostra control amb aigua destil·lada (part inferior).

3. Resolució del crim

En base al relat que s'ha construït del crim es comparen els espectres de les mostres analitzades (suc i sang) amb les mostres que hi ha a l'escena del crim. Si coincideixen amb algun dels sospitosos ens permet tenir proves fefaents de qui ha estat l'homicida. Seria desitjable presentar la resolució de forma oral i en forma de pòster comparant els espectres de les mostres de la zona del crim amb les proves obtingudes dels presumptes homicides (Figura 9).

CONCLUSIONS

Amb aquesta pràctica es pretén que l'alumnat de secundària o batxillerat adquireixin coneixements sobre l'espectrofotometria visible i les seves aplicacions. L'alumnat pot dissenyar un relat de crim fictici, fet que posarà a prova la seva creativitat, amb el qual a partir d'unes proves líquides colorejades permetran obtenir un espectre diferent per cada mostra. La relació absorbància vs longitud d'ona de cadascuna de les proves (suc de pinya i taca de sang) permet obtenir un espectre diferent per cada mostra colorejada (6 mostres de suc i 3 mostres de sang). Cada color té un pic màxim d'absorbància i per això, podem dir que encara que a simple vista els colors es vegin iguals, hi ha una característica que els diferencia.

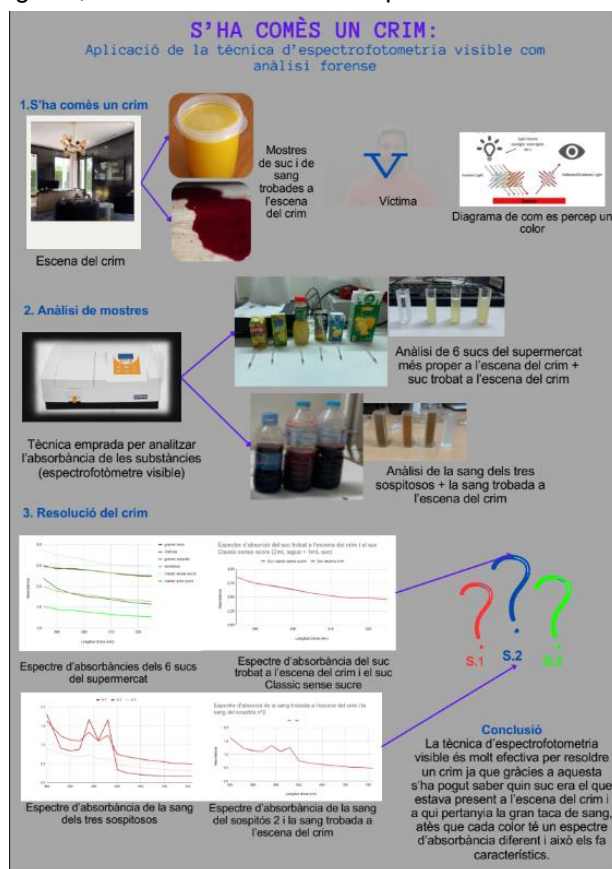


Figura 9. Exemple d'un pòster elaborat per a fer una de les comunicacions orals.

NOTES

[1] N'hi ha de disponibles al Departament d'Enginyeria química de la Universitat de Girona. Es pot contactar a l'autora de l'article

per a més informació (Àngels Olivella: molivel@xtec.cat)

- [2] Enllaç a un vídeo dels principis de funcionament d'un espectrofotòmetre visible preparat per alumnat de batxillerat en el context del treball de recerca: <https://www.cienciaentretots.cat/ca/les-experiencies/la-revista-d-experiencies/principis-i-funcionament-de-l-espectrofotometre-visible/>

BIBLIOGRAFIA.

Castillo, F., i Salamanca, D. (2020) Avances en la clasificaci3n de Sangre humana con espectrofotometr3a y aprendizaje autom3tico. *IEEE*

SPS Summer school on biomedical signal and image processing, 1 -2.

[10.13140/RG.2.2.15010.04807](https://doi.org/10.13140/RG.2.2.15010.04807)

Olivella, A., Martínez, L., Morales, M., Talhi, S. (2020) Proposta didàctica per a l'anàlisi de fosfats en aigües. *Ciències: Revista del professorat de primària i secundària*, (39), 7 – 14.

<https://doi.org/10.5565/rev/ciencies.416>

Solís, A., Colom, J., Fiol, N. i Olivella, A. (2023) Proposta didàctica: Obtenció de nanopartícules de plata a partir d'extracte de te verd. *Ciències: Revista del professorat de primària i secundària*, (45), 48 – 54.

<https://doi.org/10.5565/rev/ciencies.434>