



NIGHTUP CASTELLDEFELS

MATERIALS I ACTIVITATS PER DOCENTS

PER QUÈ CONTAMINACIÓ LUMÍNICA?

Segurament has anat algun dia al camp o a la muntanya, lluny de les grans ciutats, i t'ha sorprès la gran quantitat d'estrelles que podies observar en el cel durant la nit. Però si mires el cel des d'una ciutat te n'adones que pràcticament no en pots veure cap. Aquest és l'efecte més evident de la contaminació lumínica, que és deguda a la llum artificial que hi ha per tot arreu a les ciutats i altres indrets. Les conseqüències de la **contaminació lumínica** van més enllà de no poder veure les estrelles: canvis en el comportament dels animals, desordres del son, diferents malalties, desequilibris dels ecosistemes... Tot i això, entre els diferents problemes mediambientals que patim actualment, el de la contaminació lumínica és un dels més senzills de solucionar.

Per entendre millor aquest problema, l'ICFO està coordinant el projecte **NightUp Castelldefels**, un experiment col·laboratiu per investigar la importància del color en la contaminació lumínica. Els participants han de fer fotografies a fonts de llum artificial que troben al carrer a través de la web app del projecte (nightup.icfo.eu). Després, aquestes fotografies seran analitzades amb l'objectiu de realitzar un mapa del color de la il·luminació artificial que pugui ajudar els científics a entendre millor l'impacte de la contaminació lumínica.

ICFO I CIÈNCIA CIUTADANA

L'ICFO és un centre de recerca que té com a objectiu fer avançar els límits del coneixement de la fotònica, la ciència i la tecnologia de la llum i que està situat al Parc Mediterrani de la Tecnologia de Castelldefels. Durant els últims anys, el desenvolupament de la tecnologia ha permès que tothom pugui recollir dades importants per l'avenç de la ciència i de la societat simplement amb el mòbil que té a la butxaca. Això ha permès la difusió d'experiments de ciència ciutadana, on la contribució dels voluntaris és fonamental per poder recollir les dades necessàries per respondre a una qüestió científica que sovint no es podria resoldre d'una altra manera. Després d'haver dissenyat i participat en diferents experiments de **ciència ciutadana**, com per exemple iSPEX-EU i The BIG Bell Test (thebigbelltest.org), ICFO coordina ara NightUp Castelldefels, que té

com a objectiu recollir dades científiques sobre el color de la il·luminació artificial, informació que de moment no és fàcil d'obtenir per altres vies.

Amb una acció tan senzilla com fer una foto, els ciutadans es tornen l'element principal de l'experiment científic: d'aquesta manera podem ajudar entre tots a trobar solucions a la contaminació lumínica i conèixer més els seus efectes.

Es pot trobar més informació sobre el projecte NightUp i sobre l'ICFO a les següents pàgines web: nightup.icfo.eu i icfo.eu.

NIGHTUP: ACTIVITATS PER L'AULA

Dins del marc del projecte NightUp Castelldefels i amb l'objectiu de fomentar la participació dels docents i dels alumnes, ICFO ha preparat un conjunt d'activitats per introduir el tema de la contaminació lumínica i el projecte NightUp Castelldefels a l'aula.

Aquestes activitats estan dissenyades amb l'objectiu que es puguin realitzar per separat i que cadascuna es centri en uns àmbits diferents del tema principal, que és la contaminació lumínica. Per fer l'activitat 2 no cal haver fet la 1, i viceversa. En canvi, s'ha de tenir en compte que per realitzar l'activitat 3 s'ha d'haver muntat l'espectròmetre de l'activitat 2.

Al final de cada activitat es poden trobar algunes indicacions pels docents sobre l'activitat i es proposa una petita bibliografia per profunditzar sobre el que s'ha vist a l'activitat i altres temes relacionats.

A QUI VA DIRIGIT

Les següents activitats van dirigides principalment a alumnes de tercer i quart d'ESO, però amb les adaptacions adequades es poden realitzar amb alumnes de més o menys nivell.



RESUM DE LES ACTIVITATS

ACTIVITAT 1: MOLT MÉS QUE NO PODER VEURE LES ESTRELLES

- Objectius:
 - ✓ Entendre la importància de la contaminació lumínica, tant les causes com les conseqüències.
 - ✓ Reflexionar sobre les possibles solucions a la contaminació lumínica.
- Durada: **20 minuts**.

ACTIVITAT 2: MUNTATGE D'UN ESPECTRÒMETRE

- Objectius:
 - ✓ Entendre l'efecte del color de la llum en les conseqüències de la contaminació lumínica.
 - ✓ Muntatge d'un espectròmetre.
 - ✓ Entendre els conceptes teòrics en que es basa l'espectròmetre i les seves aplicacions.
- Durada: **50 minuts**.

ACTIVITAT 3: L'ARC DE SANT MARTÍ A LA TEVA MÀ

- Objectius:
 - ✓ Comparar i identificar diverses fonts de llum amb l'espectròmetre.
 - ✓ Entendre la relació entre l'espectre electromagnètic d'una font de llum i la seva composició.
 - ✓ (Opcional) Entendre per què els diferents àtoms tenen espectres únics i característics.
- Durada: **30 minuts**.

ACTIVITAT 4: NIGHTUP

- Objectius:
 - ✓ Observar amb l'espectròmetre diverses fonts de llum pel carrer.
 - ✓ Participació en un projecte de ciència ciutadana mitjançant l'aplicació web NightUp.
- Durada: a l'aula **10 minuts**, a l'exterior el que es vulgui.

Els temps de durada de les activitats són orientatius i a la pràctica el temps real pot variar en funció de les explicacions addicionals del professor.

CONTINGUT CURRICULAR / CONTINGUTS TREBALLATS

Matèria	Bloc Curricular	Contingut Curricular
Ciències de la naturalesa: Biologia i Geologia (3r ESO)	Les respostes del cos (CC10, CC28)	Estímul físic i químic, resposta del cos humà. Característiques dels receptors cel·lulars, òrgans dels sentits.
	Ecosistemes i activitat humana (CC12, CC13, CC25, CC26, CC27)	Impactes de l'activitat humana sobre l'atmosfera, la hidrosfera i el sòl. Diferenciació entre contaminació i contaminant; impacte d'alguns contaminants.
Biologia i Geologia (4t ESO)	Ecologia i medi ambient	Impacte de l'activitat humana en el medi ambient.
Física i Química (4t ESO)	Les ones	Descripció de la llum visible com a exemple d'ona electromagnètica. Fenòmens i aparells relacionats.
	L'energia	L'espectre electromagnètic, les propietats dels diversos tipus d'ones electromagnètiques i les seves aplicacions. Contaminació acústica, lluminosa i electromagnètica. Conseqüències sobre la salut dels éssers vius.
Física i Química i Ciències Aplicades (4t ESO)	La matèria: propietats i estructura	Estructura de l'àtom a partir d'evidències de la distribució dels electrons en nivells d'energia.
	Les ones	Descripció del so com a exemple d'ona mecànica. Fenòmens i aparells relacionats. Descripció de la llum visible com a exemple d'ona electromagnètica. Fenòmens i aparells relacionats.

	L'energia	L'espectre electromagnètic, les propietats dels diversos tipus d'ones electromagnètiques i les seves aplicacions. Altres formes de contaminació i les seves conseqüències sobre la salut dels éssers vius: contaminació acústica, contaminació lluminosa, contaminació electromagnètica, etc.
	Els canvis. Impactes sobre el medi ambient.	Altres formes de contaminació i les seves conseqüències sobre la salut dels éssers vius: contaminació acústica, contaminació lluminosa, contaminació electromagnètica, etc.
	La matèria: propietats i estructura	Estructura de l'àtom a partir d'evidències de la distribució dels electrons en nivells d'energia.
Ciències Aplicades (4t ESO)	Activitat humana i medi ambient	Impacte de l'activitat humana en el medi ambient. Altres formes de contaminació i les seves conseqüències sobre la salut dels éssers vius: contaminació acústica, contaminació lluminosa, contaminació electromagnètica, etc.
Biologia i Geologia i Ciències Aplicades (4t ESO)	Activitat humana i medi ambient	Impacte de l'activitat humana en el medi ambient. Altres formes de contaminació i les seves conseqüències sobre la salut dels éssers vius: contaminació acústica, contaminació lluminosa, contaminació electromagnètica, etc.

NOTA: Aquestes indicacions són orientatives. Els continguts relacionats amb la contaminació lumínica presents a la fitxa es poden aplicar a d'altres àrees i nivells, a partir d'adaptacions específiques.



ACTIVITAT 1

MOLT MÉS QUE NO PODER VEURE LES ESTRELLES

OBJECTIUS:

1. Entendre la importància de la contaminació lumínica, tant les causes com les conseqüències.
2. Reflexionar sobre les possibles solucions a la contaminació lumínica.

- Realitzeu en petits grups una llista de pros i contres sobre la llum artificial. A continuació, llegiu els textos que es plantegen.

La **contaminació lumínica** consisteix en el conjunt de tots els efectes perjudicials que la llum artificial té sobre el medi ambient. Moltes vegades, s'envia una gran quantitat de llum cap al cel en comptes de dirigir-la només allà on es necessita, o s'il·lumina espais on no es vol aquesta llum (per exemple, amb un fanal que il·lumina la finestra de la teva habitació). Una idea que també està molt estesa és pensar que més llum sempre és millor, quan això no sempre és cert. Un excés de llum pot arribar a enlluernar, disminuint la visibilitat i provocant així l'efecte contrari al desitjat.

Els éssers vius han viscut sempre sotmesos a uns cicles de llum i foscor relativament estables: el cicle dia – nit, el cicle lunar, les estacions al llarg d'un any... Per tant, pràcticament totes les formes de vida **s'han adaptat** a aquestes variacions periòdiques, i han desenvolupat un "calendari intern", anomenat **ritme circadiari**, que els permet regular diverses activitats en funció del nivell de llum exterior, com ara dormir, caçar, migrar, aparellar-se, etc. Però ara, per primer cop en la història de la Terra, la llum artificial durant la nit està alterant aquest cicles de llum, generant un desequilibri entre les adaptacions evolutives i les condicions de l'entorn actual. Aquest fet pot provocar diversos **canvis en el comportament** tant dels animals com dels humans.



- Quines conseqüències creus que pot tenir la contaminació lumínica sobre els éssers vius? Pensa en el concepte d'evolució i adaptació. Coneixes algun exemple d'efectes de la llum artificial sobre els humans? I sobre els animals?
- Quines solucions creus que poden ajudar a minimitzar la contaminació lumínica?
- Per acabar l'activitat, torna a fer la llista de pros i contres que has fet a l'inici, però ara pensant en tot el que acabes de llegir. Coneixies prou bé el problema de la contaminació lumínica abans de fer aquesta activitat? Què és el que més t'ha sorprès?

SABIES QUE?

L'any 1994, a la ciutat de Los Angeles, un terratrèmol va provocar una gran aturada de la xarxa elèctrica. Durant la nit, els serveis d'emergència van rebre diverses trucades de ciutadans que deien veure un estrany "núvol platejat gegant". El que realment estaven veient, per primera vegada, era la Via Làctia.



ORIENTACIÓ AL PROFESSORAT

Aquesta activitat té com a objectiu principal introduir el concepte de **contaminació lumínica** i que els alumnes reflexionin sobre les possibles causes i conseqüències. Per començar, es planteja que els alumnes elaborin una llista dels efectes positius i negatius de la llum artificial, per tal que ells mateixos reflexionin sobre el tema abans de llegir els textos que es plantegen més endavant.

A partir dels textos de l'activitat i dels materials proposats a la bibliografia, es vol que l'alumnat entengui que la contaminació lumínica és un problema real al qual sovint no se li dona gaire importància i del qual encara s'han d'estudiar en profunditat les seves conseqüències, però del qual ja es coneixen diversos efectes perjudicials sobre l'ésser humà i els ecosistemes.

Efectes biològics

Si es vol orientar l'activitat cap a l'àmbit de la biologia, es pot definir el concepte de **ritme circadiari** i el seu desenvolupament degut a l'evolució. Es poden explicar quines funcions fisiològiques i quins comportaments estan regulats pel ritme circadiari i la importància de la llum en la regulació d'aquest cicle.

Hi ha diversos exemples amb els que es pot identificar clarament el problema que suposa la contaminació lumínica pels **animals**: l'atracció dels insectes per la llum, l'existència d'animals diürns i nocturns o els ocells que migren de nit basant-se en la llum de la lluna i les estrelles, entre d'altres. En els humans, els principals efectes de l'alteració del cicle circadiari són desordres del son, però també s'ha relacionat amb malalties cardiovasculars, alteracions cognitives, afectives, etc. Es pot trobar més informació sobre el ritme circadiari i els efectes sobre els animals i els humans als documents [\[1\]](#), [\[2\]](#), [\[3\]](#) i [\[4\]](#) de la bibliografia. A l'activitat 2 es pot desenvolupar aquest tema amb més detall, explicant la importància del color de la llum en la regulació del ritme circadiari.

Impacte energètic i social

Si el professor ho considera adient, es pot debatre sobre els efectes de la contaminació lumínica en la societat. El **consum excessiu d'electricitat** per a la il·luminació d'exterior provoca una gran despesa energètica i de diners, i indirectament contribueix a altres tipus de contaminació i al canvi climàtic, a través de les diferents formes d'obtenció d'aquesta energia.



Un altre àmbit important és la **seguretat** i el crim: la creença popular és que més llum equival a més seguretat, però això ha d'estar acompanyat amb un disseny intel·ligent del sistema d'il·luminació. Si no, es poden generar zones fosques on poder amagar-se i no ser vist. Es pot trobar més informació als arxius [\[5\]](#), [\[6\]](#) i [\[7\]](#) de la bibliografia.

Solucions

En quant a les solucions a la contaminació lumínica, una idea que es pot transmetre als alumnes és que la contaminació lumínica és una de les formes de contaminació més fàcils de solucionar. Com a possibles solucions, es pot discutir sobre el disseny dels fanals, la introducció de sensors de moviment (especialment útils a carreteres poc transitades) que permetin encendre la llum només quan es passi per aquests llocs, o apagar els llums d'edificis d'oficines buits per la nit.

És important deixar clar que la solució no és eliminar tota la llum artificial, ja que aquesta ens permet fer moltes activitats fora de les hores amb llum solar. Simplement, cal que la llum artificial sigui eficient i no s'utilitzi més de la necessària.



BIBLIOGRAFIA D'INTERÈS

- [1] B. Zivkovic, «City Of Light: Insomniac Urban Animals», *Scientific American*, 2011. Disponible a:
<https://blogs.scientificamerican.com/a-blog-around-the-clock/city-of-light-insomniac-urban-animals/>
- [2] «Hoja informativa sobre los ritmos circadianos», National Institute of General Medical Sciences. Disponible a:
<https://www.nigms.nih.gov/education/Pages/los-ritmos-circadianos.aspx>
- [3] «Posibles riesgos de la iluminación LED», Comité Español de Iluminación, 2017. Pàgines 57-71, 85-90. Disponible a:
https://www.ceisp.com/fileadmin/user_upload/Riesgos-iluminacion-led.pdf
- [4] D. Kwon, «The Vanishing Night: Light Pollution Threatens Ecosystems», *The Scientist*, 2018. Disponible a:
<https://www.the-scientist.com/features/the-vanishing-night--light-pollution-threatens-ecosystems-64803>
- [5] «Light Pollution Wastes Energy and Money», International Dark-Sky Association. Disponible a: <https://www.darksky.org/light-pollution/energy-waste/>
- [6] N. Kalms, «More lighting alone does not create safer cities», *The Conversation*, 2019. Disponible a:
<https://theconversation.com/more-lighting-alone-does-not-create-safer-cities-look-at-what-research-with-young-women-tells-us-113359>
- [7] «What is Light Pollution?», Globe At Night. Disponible a:
<https://www.globeatnight.org/light-pollution.php>



ACTIVITAT 2: MUNTATGE D'UN ESPECTRÒMETRE

OBJECTIUS:

1. Entendre l'efecte del color de la llum en les conseqüències de la contaminació lumínica.
 2. Muntatge d'un espectròmetre.
 3. Entendre els conceptes teòrics en que es basa l'espectròmetre i les seves aplicacions.
- Llegiu el següent text i contesteu les preguntes. A continuació, seguiu els passos per muntar l'espectròmetre.

Quan es parla de **contaminació lumínica**, es pot pensar que el factor més important a tenir en compte és la intensitat o la direcció de la llum. En part és cert, però hi ha un altre element que també és molt important: el **color**. Hi ha diversos estudis que demostren que una llum blava és molt més perjudicial que una llum vermella o groga. Hi ha unes cèl·lules dels ulls que s'encarreguen de regular el ritme circadiari i que són més sensibles a la **llum blava**. Per això, el ritme circadiari es veu més alterat per la llum blava que per altres colors de llum. Aquest pic de sensibilitat al voltant del color blau comporta que, quan es dissenyen els sistemes d'il·luminació, s'hagi de pensar també en el color de la llum i no només en la intensitat i la direcció.

- De quins colors són les llums del teu carrer i del voltant de l'escola? Normalment no trobem llums blaves pel carrer. Per tant, per què ens hauríem de preocupar pel color blau de la llum? Debatiu entre tots i intenteu trobar una resposta.
- Quina llum creus que és més perjudicial, la llum blanca o la llum groga? Per què?

Una llum blanca conté tots els colors de la llum. Normalment, tota la llum que veiem en el dia a dia és una suma de diversos colors. És possible que dues llums que percebem iguals en realitat siguin molt diferents en la seva composició. Per aquest motiu cal tenir en compte la composició real de la llum, ja que potser té una component blava perjudicial que no es veu a simple vista.

Per saber de quins colors està formada una font de llum es pot utilitzar un **espectròmetre**. Aquest dispositiu es basa en el fenomen de la **difracció** i la **dispersió** de la llum: amb una xarxa de difracció s'aconsegueix separar un raig de llum en les seves components de l'espectre electromagnètic, és a dir, es separa la llum inicial en funció de la longitud d'ona. En el camp visible de l'espectre electromagnètic, a cada longitud d'ona li correspon un color diferent. D'aquesta



manera, un espectròmetre ens permet veure quines longituds d'ona (colors) componen una certa llum.

- Quins exemples coneixes on es doni el fenomen de la dispersió de la llum i es puguin observar els diferents colors de la llum?

Els espectròmetres s'utilitzen habitualment en ciència per una gran **varietat d'aplicacions**. Aquests aparells permeten mesurar diferents propietats de la llum, i es pot utilitzar per estudiar un rang molt gran de l'espectre electromagnètic. Principalment són útils per identificar i caracteritzar materials. Alguns exemples en que s'utilitza l'espectròmetre són els següents:

- En astronomia per deduir la composició química d'estrelles.
- En biologia i química per analitzar diverses molècules, com les proteïnes o l'ADN.
- Detecció de contaminants a l'aire o a l'aigua.
- Aplicacions terapèutiques i de diagnosi.
- En agricultura i indústria alimentària per realitzar controls de qualitat i monitoritzar el procés de producció d'aliments.

MATERIAL

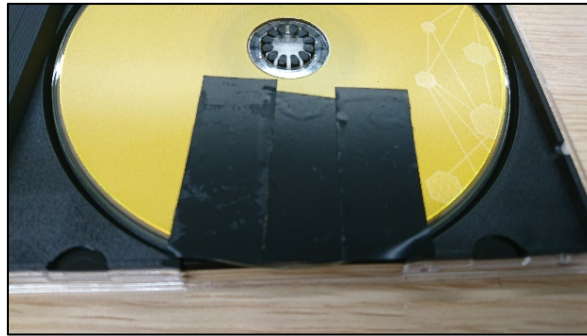
- Cartolina.
- Cola d'enganxar.
- Tisores.
- CD. Aquest CD quedarà inutilitzat, ja que es necessita tallar un tros. Un mateix CD pot servir per diverses persones.
- Cúter.
- Càmera (recomanable l'ús del mòbil).
- Cinta adhesiva no transparent.

MUNTATGE

- 1) L'objectiu d'aquest primer pas és retirar una part de la capa superior del CD. Aquest CD actuarà com a xarxa de difracció.
 - ✓ Quan treballis amb el CD, intenta tocar-ho el mínim possible per tal de no tacar-ho.
 - a) Per retirar la capa superior, fes una marca amb el cúter de la zona que volem retirar (observa les fotografies per veure la mida aproximada de la zona transparent que volem obtenir). Aquestes marques facilitaran la extracció de la capa superior.
 - b) A continuació, cobreix aquesta zona amb cinta adhesiva. Deixa-ho uns pocs minuts (2-3min). Mentre esperes, pots anar treballant en el pas 2 i 3.
 - c) Retira la cinta adhesiva, intentant no tocar molt el CD. S'ha d'aconseguir retirar la capa superior, obtenint així



una superfície transparent. Aquest pas pot ser una mica complicat i potser s'ha de tornar a intentar.

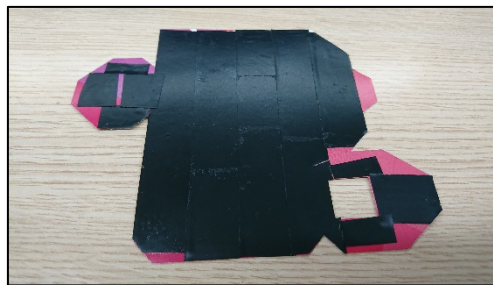


- 2) Imprimeix sobre la cartolina la imatge que trobaràs a l'última pàgina d'aquesta activitat (pàgina 16).
- 3) Retalla la cartolina per la línia contínua. També s'ha de retallar el quadrat marcat amb una "A" i amb compte repassar amb el cúter la línia estreta marcada amb una "B".
 - ✓ Per fer la línia estreta, simplement clavar o repassar la línia amb el cúter. L'objectiu és que passi molt poca llum a través.
- 4) Plega allà on hi hagi línies discontinües, simplement per marcar els plecs, no cal tancar l'espectròmetre encara. Fixa't en la direcció dels plecs!

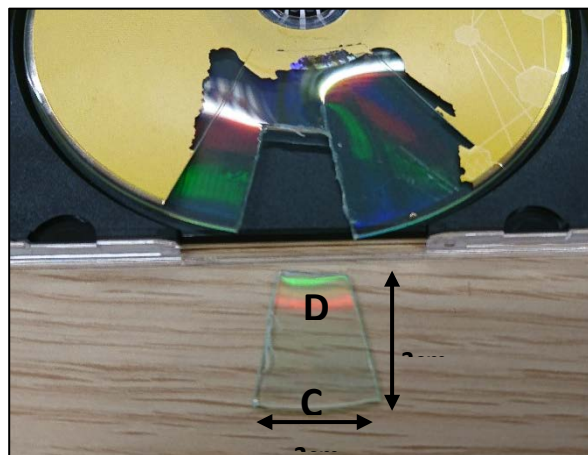




- 5) Opcional: posa cinta adhesiva negra a tot l'interior de l'espectròmetre (sense tapar el quadrat "A" i la línia "B"). D'aquesta manera veuràs molt millor la composició de la llum un cop acabis el muntatge!
- ✓ Aclariment: la part interior és la part no impresa.

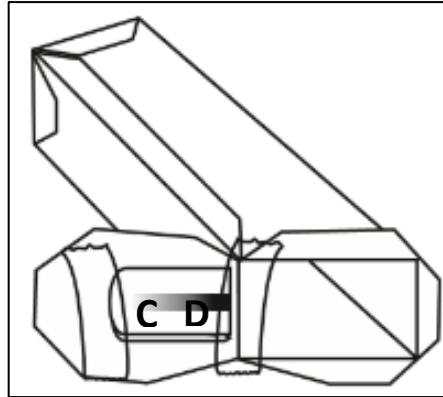


- 6) Retalla amb les tisores un tros rectangular de CD d'aproximadament 2x3cm, tal com es mostra a la fotografia. Recorda l'orientació del tros retallat (fixa't en les lletres C i D).





- 7) Enganxa amb cinta adhesiva el tros de CD per dins de l'espectròmetre, cobrint el forat quadrat "A". Observa quina és l'orientació correcta al dibuix.



- 8) Utilitza la cola d'enganxar per tancar l'espectròmetre, unint les diverses solapes a on toqui.
- 9) Opcional: per obtenir una bona fotografia de l'espectre i que l'espectròmetre quedi ben tancat, tapa amb cinta adhesiva no transparent totes les unions per on pugui entrar llum. Només interessa que entri llum per la línia estreta "B".
- 10) Ja pots observar les fonts de llum que vulguis! A l'activitat 3 s'explica com utilitzar aquest espectròmetre i trobaràs el motiu pel qual les diferents fonts de llum tenen espectres diferents.

Nota: el disseny i muntatge d'aquest espectròmetre ha sigut extret de publiclab.org. En aquest espectròmetre s'utilitza un CD com a xarxa de difracció. Per observar l'espectre es pot utilitzar qualsevol càmera.



ORIENTACIÓ AL PROFESSORAT

Si els alumnes no estan familiaritzats amb els conceptes d'**espectre electromagnètic** i **longitud d'ona**, cal que prèviament a la realització d'aquesta activitat s'expliquin, a més a més de posar èmfasi en relació entre longitud d'ona i color.

Impacte biològic

Si es volen desenvolupar amb més detall els conceptes relacionats amb la biologia descrits al primer text, s'hauria de parlar de les cèl·lules dels ulls relacionades amb el ritme circadiari. Aquestes cèl·lules de la retina s'anomenen **iRGCs**, i són les encarregades d'induir la producció de melatonina, una hormona relacionada amb el nivell de son i la regulació del ritme circadiari. Normalment els nivells de melatonina augmenten amb la foscor de la nit, però diversos estudis demostren que la producció de melatonina disminueix quan hi ha una exposició a llum artificial, sobretot si aquesta és blava. Això és degut a que les iRGCs són més sensibles a aquesta longitud d'ona. Més informació als documents [8], [9], [10] i [11].

Difracció

Si es creu convenient, es pot desenvolupar el concepte de difracció i xarxa de difracció. Una xarxa de difracció és un patró regular de franges separades per una distància petita i que permet separar la llum incident en diversos raigs de llum que viatgen en diferents direccions en funció de la longitud d'ona. El canvi de direcció en passar a través del conjunt de franges juntament amb la interferència entre ones és el que es coneix com a fenomen de la difracció, i només passa si la distància entre franges és propera a la longitud d'ona de la llum incident.



Imatge obtinguda de:

<https://www.minube.com/rincon/playa-de-terramar-a99063>



Un exemple més visual i familiar de difracció pot ser el cas d'una platja, com per exemple, la platja de Terramar a Sitges, on també es pot veure la difracció de les ones del mar en passar a través d'un obstacle.

Com que una xarxa de difracció separa la llum en funció de la longitud d'ona, es diu que també és un element dispersiu. Es poden trobar més detalls al document [12].

Dispersió

La dispersió de la llum es pot aconseguir de dues maneres: o bé degut a la refracció de la llum quan aquesta canvia de medi pel qual viatja, o bé per la difracció de la llum quan passa per un obstacle o forat molt petit. En aquesta activitat la dispersió s'aconsegueix d'aquesta última manera: s'utilitza el CD com a xarxa de difracció. Això es pot fer degut a l'estructura microscòpica de la superfície del CD, que permet guardar la informació que contenen. Tant en la dispersió per difracció com en la dispersió per refracció es donen canvis de direcció en funció de la longitud d'ona. Un exemple de dispersió basada en la refracció és l'arc de Sant Martí o la dispersió a través d'un prisma. Més informació al document [13].

Aplicacions de l'espectròmetre

Es pot trobar més informació sobre aquest aspecte als arxius [14] i [15] de la bibliografia.

Muntatge de l'espectròmetre

Es recomana que, per agilitzar l'activitat, es porti el motlle de l'espectròmetre imprès de casa o que el professor ho porti imprès a l'aula.

BIBLIOGRAFIA D'INTERÈS

- [8] J. Filmer, «Light pollution: How does it impact people?», *Futurism*, 2013. Disponible a: <https://futurism.com/light-pollution-how-does-it-impact-people>
- [9] S. Bará, «Light pollution: Why should we care?», de *Second International Conference on Applications of Optics and Photonics*, Aveiro, Portugal, 2014. Disponible a: http://webspersoais.usc.es/export9/sites/persoais/persoais/salva.bara/docs/AOP2014_LightPollution_sent_wcpr.pdf



- [1] «Human Health», International Dark-Sky Association.
 0] Disponible a: <https://www.darksky.org/light-pollution/human-health/>
- [11] «Seeing Blue», International Dark-Sky Association. Disponible a: [https://www.darksky.org/wp-content/uploads/bsk-pdf-manager/29_SEEINGBLUE\(1\).PDF](https://www.darksky.org/wp-content/uploads/bsk-pdf-manager/29_SEEINGBLUE(1).PDF)
- [12] «Diffraction grating», Wikipedia. Disponible a: https://en.wikipedia.org/wiki/Diffraction_grating
- [1] «Dispersion (optics)», Wikipedia. Disponible a:
 3] [https://en.wikipedia.org/wiki/Dispersion_\(optics\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Dispersion_(optics)).
- [1] «Spectroscopy Applications for the Real World», Ocean
 4] Optics. Disponible a: <https://oceanoptics.com/application/>.
- [1] S. Cheriyaedath, «Spectroscopy Applications», New Medical
 5] Life Science. Disponible a: <https://www.news-medical.net/life-sciences/Spectroscopy-Applications.aspx>

BIBLIOGRAFIA D'INTERÈS

- [8] J. Filmer, «Light pollution: How does it impact people?», *Futurism*, 2013. Disponible a: <https://futurism.com/light-pollution-how-does-it-impact-people>
- [9] S. Bará, «Light pollution: Why should we care?», de *Second International Conference on Applications of Optics and Photonics*, Aveiro, Portugal, 2014. Disponible a: http://webspersoais.usc.es/export9/sites/persoais/persoais/salva.bara/docs/AOP2014_LightPollution_sent_wcpr.pdf



- [10 «Human Health», International Dark-Sky Association.
] Disponible a: <https://www.darksky.org/light-pollution/human-health/>
- [11 «Seeing Blue», International Dark-Sky Association. Disponible a:
] [https://www.darksky.org/wp-content/uploads/bsk-pdf-manager/29_SEEINGBLUE\(1\).PDF](https://www.darksky.org/wp-content/uploads/bsk-pdf-manager/29_SEEINGBLUE(1).PDF)
- [12 «Diffraction grating», Wikipedia. Disponible a:
] https://en.wikipedia.org/wiki/Diffraction_grating
- [13 «Dispersion (optics)», Wikipedia. Disponible a:
] [https://en.wikipedia.org/wiki/Dispersion_\(optics\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Dispersion_(optics)).
- [14 «Spectroscopy Applications for the Real World», Ocean Optics.
] Disponible a: <https://oceanoptics.com/application/>.
- [15 S. Cheriyaedath, «Spectroscopy Applications», New Medical Life
] Science. Disponible a: <https://www.news-medical.net/life-sciences/Spectroscopy-Applications.aspx>



ACTIVITAT 3: L'ARC DE SANT MARTÍ A LA TEVA MÀ

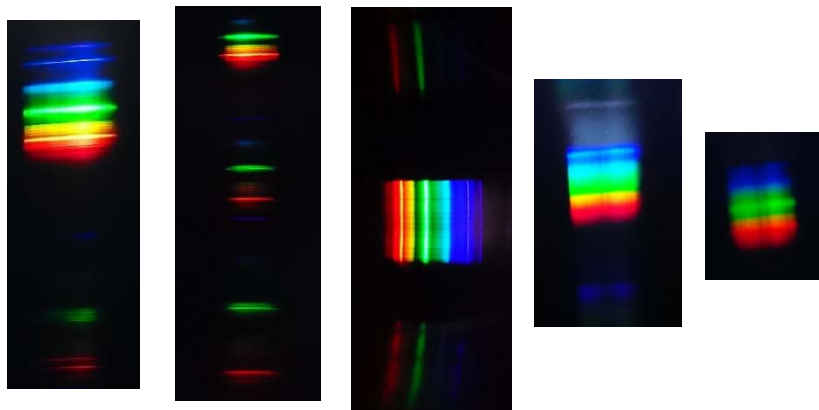
OBJECTIUS:

1. Comparar i identificar diverses fonts de llum.
2. Entendre la relació entre l'espectre electromagnètic d'una font de llum i la seva composició.
3. (opcional) Entendre perquè els diferents àtoms tenen espectres únics i característics.

En aquesta activitat s'observaran diverses fonts de llum amb l'espectròmetre que s'ha muntat a l'activitat anterior i s'intentarà identificar aquestes fonts de llum.

- Col·loca l'espectròmetre realitzat a l'activitat anterior davant l'objectiu de la càmera del mòbil. Per millorar la imatge, enganxa-ho amb cinta adhesiva per evitar que entri llum. A continuació, observa diverses fonts de llum. Què observes? Busca la direcció en la que el patró es vegi més intens. Precaució: no miris al Sol directament amb l'espectròmetre. Pots mirar un núvol blanc, o qualsevol altre superfície en que es reflecteixi la llum del sol (un paper blanc, el terra...).
- Trobes alguna diferència entre les diferents fonts de llum que has observat? Quina?

Exemples d'espectres observats amb l'espectròmetre realitzat a l'activitat 2:



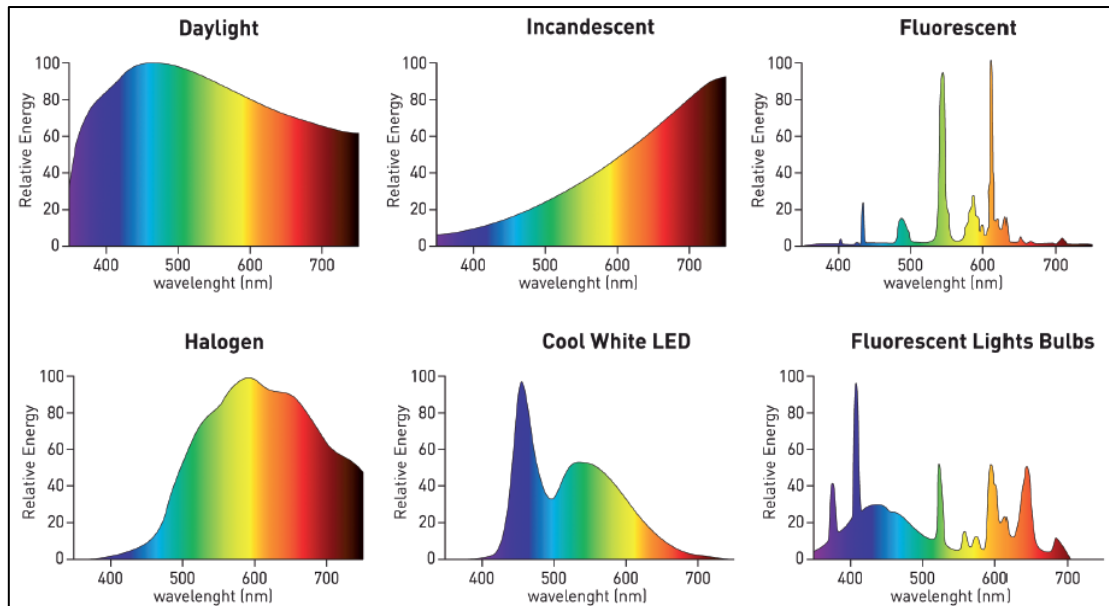
Amb l'espectròmetre s'aconsegueix observar la **composició de la llum**, o dit d'una altra manera, l'**espectre** d'una font de llum. La llum que diàriament ens arriba als nostres ulls, com per exemple, la llum del Sol, sol ser en realitat una barreja de diferents colors. És a dir, la llum que estem veient realment és tot un conjunt d'ones electromagnètiques de diferents longituds d'ona, i per tant, de diferents colors. Nosaltres no podem distingir els diversos colors perquè el que arriba al nostre cervell és la suma de totes aquestes ones. De vegades, pot ser que s'observin dues llums que a simple vista són similars, però que si s'observen a través de l'espectròmetre es vegi que realment estan compostes per longituds d'ona bastant diferents. El que ens permet aquest aparell és detectar l'espectre, que consisteix en el conjunt de longitud d'ones que componen la llum que estem observant. Diferents fonts de llum tenen diferents espectres, ja que emeten diferents longituds d'ones depenent del **material** que emet llum i del **mètode de generació** d'aquesta llum.

Diferents materials emeten i absorbeixen llum amb longituds d'ona diferents, i per tant, deixen una "**firma**" característica al patró de colors observat. Els materials més senzills són els elements, com el sodi o el mercuri: aquests tenen **línies d'emissió** o **absorció** característiques que els diferencien de la resta d'elements. D'aquesta manera, observant quins colors estan presents a l'espectre i quins no, es pot determinar quins elements componen una determinada font de llum. Alguns exemples de llums que tenen línies d'emissió en el seu espectre són les llums fluorescents i fosforescents.

Hi ha unes altres fonts de llum que, per altres mecanismes, poden emetre llum en pràcticament tots els colors. És a dir, el seu espectre és **continu** i no trobem línies d'emissió. Aquest cas seria, entre d'altres, el de les bombetes incandescentes i halògenes o el del Sol, tot i que el Sol també té algunes petites línies d'absorció.



- A continuació disposes dels espectres de les fonts de llum més típiques. Comparant amb aquestes imatges, pots identificar alguna font de llum que hagi observat amb l'espectròmetre?



Imatge obtinguda de: <https://www.pointsdevue.com/article/crizalr-prevenir-first-preventive-non-tinted-lenses-everyday-wear-protection-uv-rays-and>

- A partir dels coneixements obtinguts en l'activitat anterior sobre l'efecte perjudicial de la llum en funció del color, digues quines de les fonts que has observat creus que són més perjudicials.

SABIES QUE?

Mitjançant la espectroscòpia astronòmica es poden obtenir els espectres de les estrelles i utilitzar-los per determinar la composició química de l'estel. Com que cada element és responsable d'un conjunt diferent de línies de l'espectre, la presència d'una línia en una longitud d'ona concreta d'un espectre estel·lar mostra que aquest element ha d'estar present a l'estrella.



ORIENTACIÓ AL PROFESSORAT

Per realitzar la observació de fonts de llum, és possible que a l'aula no es disposi d'una gran varietat d'aquestes fonts. A l'aula es poden observar pantalles de mòbil o ordinadors, llanternes, espelmes, etc (es pot demanar prèviament als alumnes que portin aquests elements). Si es creu adequat, l'activitat 4 està enfocada a sortir a l'exterior i realitzar observacions a les fonts de llum del carrer i utilitzar l'aplicació del projecte NightUp. L'activitat 3 i 4 estan prou relacionades com per poder fer una mescla de les dues.

Espectres atòmics

Per entendre bé aquesta activitat els alumnes han de tenir clara la existència d'una relació entre l'energia de la llum i la longitud d'ona, és a dir, el color. També s'ha de conèixer el concepte d'espectre electromagnètic.

Per acabar d'aclarir el concepte de l'espectre atòmic, es pot trobar més informació als documents [\[16\]](#), [\[17\]](#), [\[18\]](#) i [\[19\]](#).

Formes de generació de llum: incandescència i luminescència

Si es considera adequat, es poden desenvolupar breument els conceptes que expliquen que cada font de llum tingui un espectre diferent. Es poden consultar els documents [\[20\]](#), [\[21\]](#) i [\[22\]](#) per conèixer més detalls. Hi ha dos formes principals de generació de llum: per incandescència o per luminescència. El primer consisteix en l'emissió de llum d'un cos calent; aquesta llum dependrà de la temperatura del cos i consistirà en un espectre continu. El segon és tota aquella producció de llum que no és deguda a un cos calent. Es pot donar luminescència de diverses maneres, com per exemple mitjançant reaccions químiques o energia elèctrica. Els exemples més coneguts de luminescència són la fluorescència i la fosforescència. La luminescència pot generar espectres amb línies d'emissió concretes, però també es pot dissenyar la bombeta per tal que l'espectre d'emissió sigui més ample o fins i tot continu.

Per exemplificar la incandescència es poden mostrar les imatges que es troben a la pàgina següent: s'observa que en escalfar un material (per exemple, quan es fon un metall per fer alguna eina), aquest emet llum. Un altre exemple conegut on es dona aquest fenomen és la lava, que és roca fosa a elevades temperatures.

Per aclarir la luminescència, s'hauria d'explicar l'estructura de l'àtom i remarcar que els electrons d'un àtom només poden tenir uns valors d'energia concrets, és a dir, l'energia és discontinua. A partir



d'aquests preceptes, es pot continuar explicant que un àtom o molècula emet llum quan fa una transició electrònica, és a dir, quan un electró passa d'un nivell d'energia superior a un inferior. La energia perduda en aquesta transició s'allibera en forma de llum. Com que els nivells d'energia són específics per cada àtom, cada transició electrònica té una energia determinada, i per tant, la llum emesa per l'àtom en aquesta transició electrònica serà d'un color característic. Per això cada element té un espectre únic.

Per explicar els LEDs, que es basen també en la luminescència, es pot trobar una infografia amb elements prou entenedors al document [23] de la bibliografia.

En quant als espectres, en aquesta activitat es fa una interpretació qualitativa. Per identificar les fonts de llum, els alumnes han d'observar quins colors veuen amb més intensitat i comparar-ho amb els pics dels gràfics de referència.

Temperatura de color

El color d'un objecte incandescent depèn de la seva temperatura. A temperatures més baixes (~2000K) es veurà vermell, mentre que pujant la temperatura es tornarà més groc, fins a tornar-se blanc i després blau (>5000K). Encara que per les fonts de llum no incandescent la temperatura del material no està relacionada

amb el color percebut, s'utilitza una escala de temperatura per indicar el color d'una font de llum blanca. Amb aquesta escala, s'indica si la llum té més components vermelles (més "càlida") o si té més components blaves (més "freda"). Aquesta és la **temperatura de color** que trobem indicada a les bombetes que comprem.



Obtingut de:

<https://www.machinemfg.com/the-melting-point-of-ferrous-metal-and-nonferrous-metal/>



Obtingut de:

https://en.wikipedia.org/wiki/Thermal_radiation



BIBLIOGRAFIA D'INTERÈS

- [16] «Espectro de emisión», Wikipedia. Disponible a:
https://es.wikipedia.org/wiki/Espectro_de_emisi%C3%B3n
- [17] «Atomic Spectroscopy», Wikipedia. Disponible a:
https://en.wikipedia.org/wiki/Atomic_spectroscopy
- [18] J. Tate, «Atomic Spectra», *Universe Today*, 2010. Disponible a:
<https://www.universetoday.com/50883/atomic-spectra/>
- [19] «Absorption and Emission Spectra», The Pennsylvania State University. Disponible a: <https://astro.psu.edu/public-outreach/fireworks-masks-1/absorption-and-emission-spectra>
- [20] «List of light sources», Wikipedia. Disponible a:
https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_light_sources
- [21] K-D. Gundermann, «Luminescence», *Encyclopedia Britannica*.
 Disponible a:
<https://www.britannica.com/science/luminescence>
- [22] B. Lewis, «What Is an Incandescent Light Bulb?», *The Spruce*, 2019. Disponible a: <https://www.thespruce.com/what-is-incandescent-light-2175096>
- [23] «Photonics: technical applications of light. Infographics», Spectaris & SPIE, 2016. Pàgines 31-32. Disponible a:
<https://spie.org/news/spie-professional-magazine/2016-january-/photonics-explained-in-infographics-book?SSO=1>

