

Color i pigments

Pere Molera, Miguel del Valle, Ricard March

Departament d'Enginyeria Química i Metal·lúrgia, Universitat de Barcelona, Nubiola, Barcelona, a/e: molera@material.qui.ub.es

En primer lloc, es descriu la llum, es defineix el color i les seves propietats, com són ara el matís, la lluminositat i la saturació. Després es defineixen les mescles additives i les mescles subtractives per comprendre les bases de color i les pastes, formulades mitjançant els pigments, tant inorgànics com orgànics. Es destaca, també, la química d'aquests productes.

Firstly light is described, and colour and its properties, such as shade, luminosity and saturation, are then defined. Additive and subtractive mixtures are defined to understand basis of colour and pastes, made from pigments, both inorganic and organic. The chemistry of these products is highlighted.

El nostre entorn està ple de color. Tant la naturalesa com els habitatges, els electrodomèstics i els cotxes tenen color. Per aquest motiu sovint ens preguntem què és el color? Per què quan il·luminem amb tres llums de diferent tonalitat aconseguim la llum blanca i, en canvi, en barrejar tinta de tres tonalitat aconseguim tinta negra? En aquest article pretenem contestar aquestes preguntes i d'altres semblants.

Les magnituds que caracteritzen una ona lluminosa són la longitud (λ), la velocitat (v), la freqüència (ν) i l'energia (E). La relació entre les tres primeres ve establerta per l'equació següent:

$$v = \lambda \cdot \nu$$

Mentre que l'energia associada a un raig de llum, l'energia del *fotó*, depèn també de la freqüència, segons:

$$\Delta E = h \cdot \nu$$

on h és la constant de Planck.

Es considera el color (llum visible) com aquella part de l'espectre electromagnètic amb una longitud d'ona compresa entre els 0,4 i els 0,7 micròmetres (μm), que és la que pot ésser captada per l'ull humà (figura 2).

Concepte de color

La llum és una ona electromagnètica i, com a tal, un raig de llum visible és la suma de dos moviments ondulatoris harmònics corresponents als camps *elèctric* (φ) i *magnètic* (H) (figura 1).

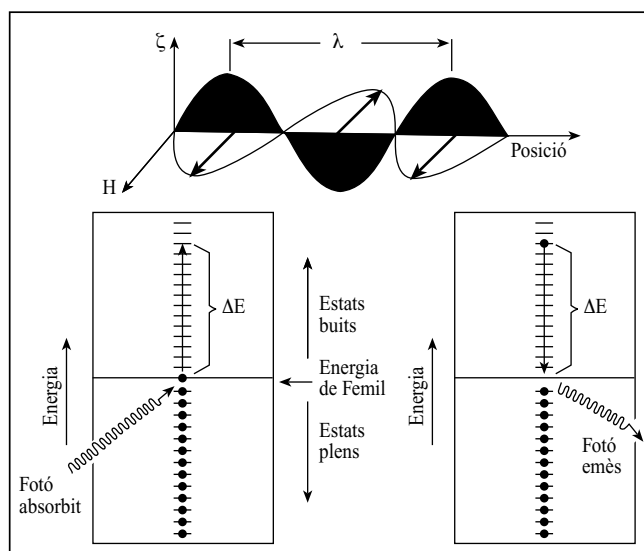


FIGURA 1. Ona de llum formada pels moviments vibratoris harmònics dels camps elèctric i magnètic perpendiculars. Relació entre els estats energètics dels electrons i del fotó que incideix sobre la superfície d'un material.

La interacció dels raigs lluminosos amb la matèria comprèn també els fenòmens de *reflexió* i *refracció* (figura 3).

La reflexió és una forma d'interacció. La llum és tornada al medi sense gairebé penetrar en la matèria. En la refracció, per la seva part, la llum pateix un canvi en la seva direcció en passar d'un medi a un altre.

La refracció és diferent per a cada color quan es descomposa un feix de llum blanca, és major per a la llum violada i menor per a la llum vermella. D'aquesta manera, un feix de raigs de llum blanca que es refracta en un prisma origina els diferents colors de l'arc iris (figura 4), fenomen descobert per Isaac Newton, el 1666.

Les tonalitats (vermella, taronja, groga, verda, blava i violada) en què es descomposa la llum blanca tenen diferents energies, longituds d'ona i freqüències.

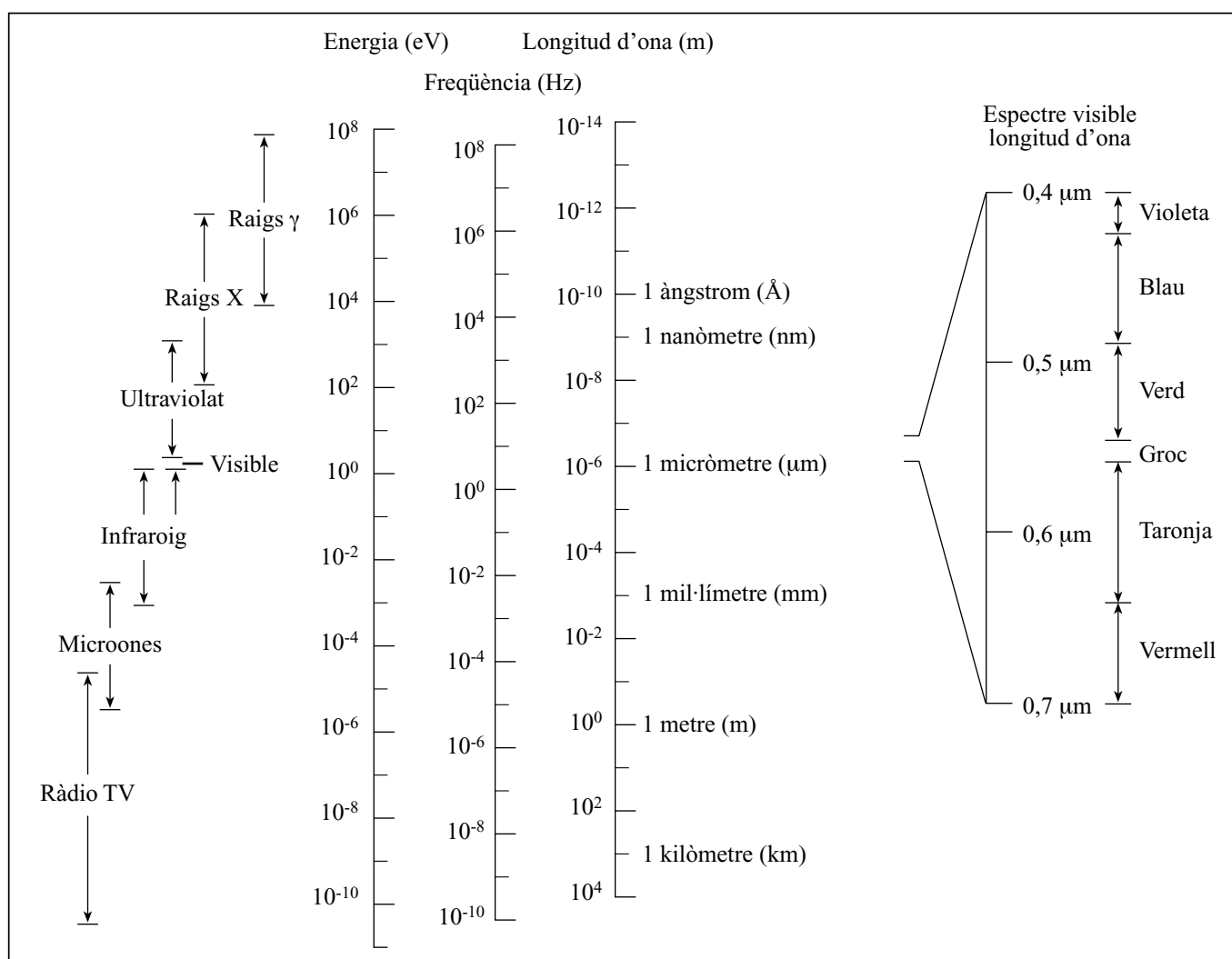


FIGURA 2. Valors de les longituds d'ona de les diferents tonalitats de la llum blanca.

Propietats del color

El color en si mateix no existeix, no és una característica de l'objecte, sinó que és una apreciació subjectiva de l'observador. És una experiència sensorial que es produeix gràcies a tres factors: una emissió d'energia lluminosa, la modulació física que les superfícies dels objectes fan d'aquesta energia i la participació de la retina. El color és la qualitat de la sensació o estímul nerviós produït a la retina d'un observador que rep raigs lluminosos de longituds d'ona compresos entre 380 i 760 nanòmetres.

Les propietats del color (figura 5) són la claredat o lluminositat, la tonalitat o matís i la saturació o intensitat.

El *matís* fa referència al nom del color, al tipus de longitud d'ona de la radiació. Però, com que no és una radiació concreta —pels nostres ulls, un color és un conjunt de radiacions properes—, no és un valor quantitatiu i es dona (qualitativament) per descripció: matís verd, vermell, porpra, etc., quan correspon a una longitud d'ona dominant. Així, doncs, la tonalitat és l'estímul que permet diferenciar un color d'un altre, i la seva existència implica l'existència de lluminositat i saturació.

La *lluminositat* és la intensitat subjectiva amb la qual veiem el color, la captació de la intensitat lluminosa reflectida. En altres paraules, la major o menor capacitat que té per reflectir la llum. Depèn de l'angle que mirem la superfície. La llum blanca no té matís, però té lluminositat.

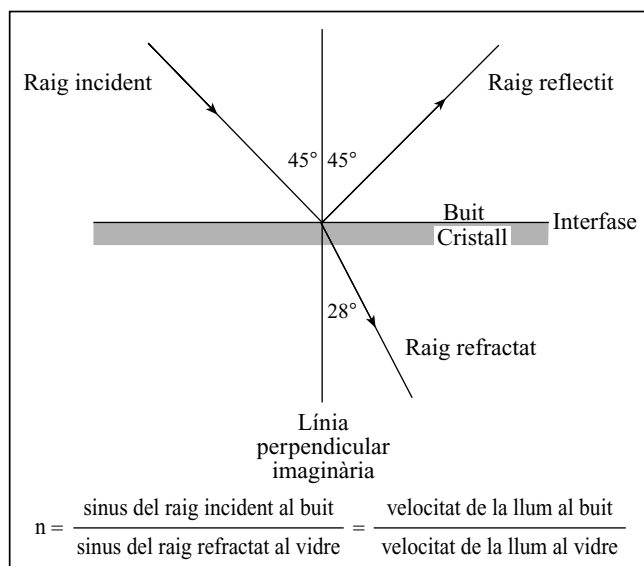


FIGURA 3. Reflexió i refracció de la llum.

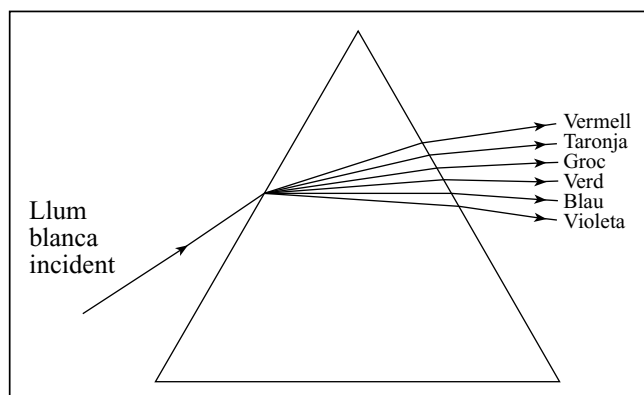


FIGURA 4. Prisma descompon la llum blanca.

Finalment, la *saturació* representa la força del color, el seu grau de puresa o de mescla amb el blanc. Dins d'un mateix color vermell podem distingir entre un de pàl·lid i un de fort, segons la seva diferent saturació. També es pot modificar la saturació d'una aplicació (plàstic o pintura) en funció de la quantitat de pigment. Quant més pigment d'un color hi ha per unitat de volum, més saturat està el color: el rosa pàl·lid està menys saturat que el rosa fort. Vegeu totes aquestes propietats a l'esfera (figura 5).

La Comissió Internacional de l'Eclairage (CIE) defineix el color intentant representar-lo en un espai cartesià, on les coordenades Z, X i Y són les variables L, a i b. Els valors de L van del 0 (negre) al 100 (blanc); els valors positius de a indiquen tonalitat vermella i els negatius, tonalitat verda; els valors positius de b indiquen tonalitat groga i els negatius, blava (figura 5).

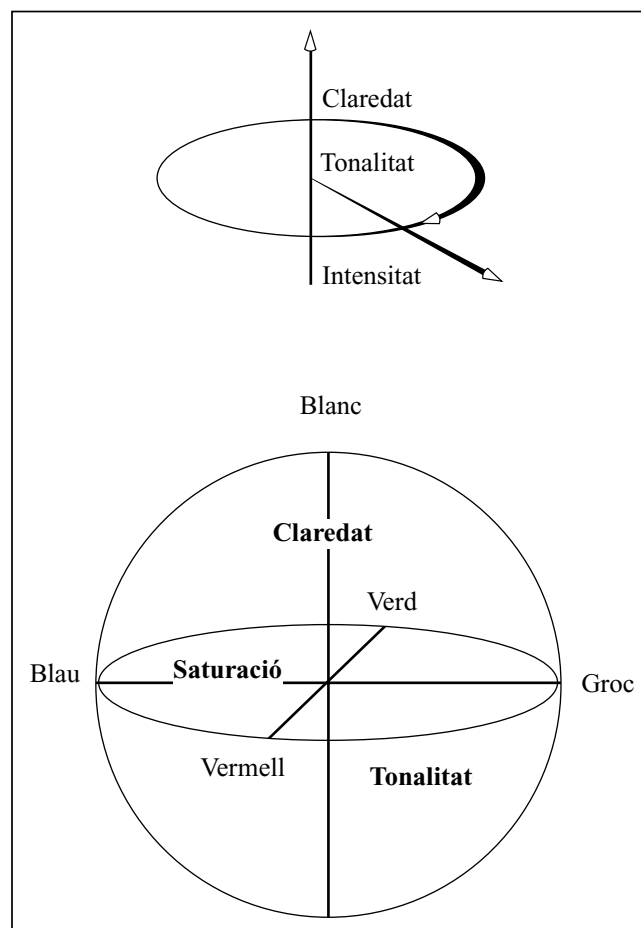


FIGURA 5. Claredat, tonalitat i saturació o intensitat del color.

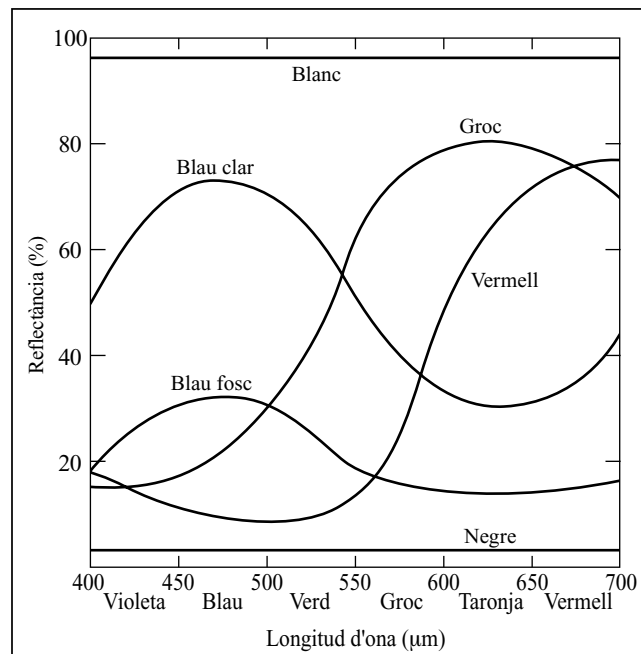


FIGURA 6. Valors de la reflectància segons la longitud d'ona.

Els percentatges de reflectància d'una superfície depenen, com s'aprecia a la figura 6, de la longitud d'ona del seu matís. És a dir, la tonalitat groga reflecteix una mica més que la blava clara i molt més que la blava fosca. La tonalitat vermella també reflecteix menys que la groga, però més que la blava.

Mescles

En els escenaris, on s'empren llums de colors, la suma dels colors vermell i blau dona el violet i la suma del vermell i el verd dona el groc, mentre que la suma del vermell, el blau i el verd dona el blanc (figura 7). Es tracta de mescles denominades *additives*. Existeixen tres colors denominats primaris: vermell, verd i blau. La resta de colors es denominen secundaris.

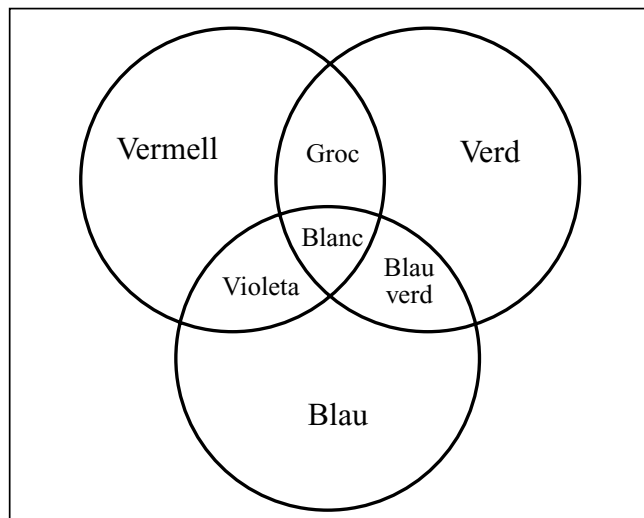


FIGURA 7. Mescla additiva de colors: llums.

En la indústria de la pintura i els plàstics, els diferents colors s'obtenen mitjançant la mescla de pigments, substàncies que tenen color perquè absorbeixen algunes radiacions i reflecteixen les restants: el pigment blau absorbeix les tonalitats taronges i la majoria de les vermelles i de les grogues. Els pigments grocs absorbeixen les tonalitats violades i reflecteixen les vermelles i les blaves. La mescla de pigments blaus i grocs dona pintures de color verd: són les denominades mescles subtractives (figura 8). En les mescles additives, els tres colors primaris són: vermell porpra, groc i blau verdós. Sota aquestes condicions, la mescla del blau verdós amb el groc dona el verd, la mescla del porpra amb el groc dona el vermell i de les mescles de pigments blancs, amb diferents proporcions de pigments negres, s'obté

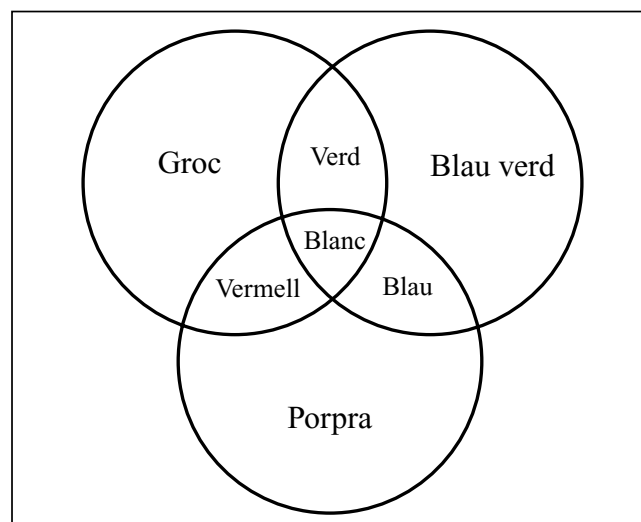


FIGURA 8. Mescla subtractiva de pigments de diferent tonalitat. El porpra és una tonalitat vermella pujada, quasi violada. El centre (vermell + verd + blau) és negre.

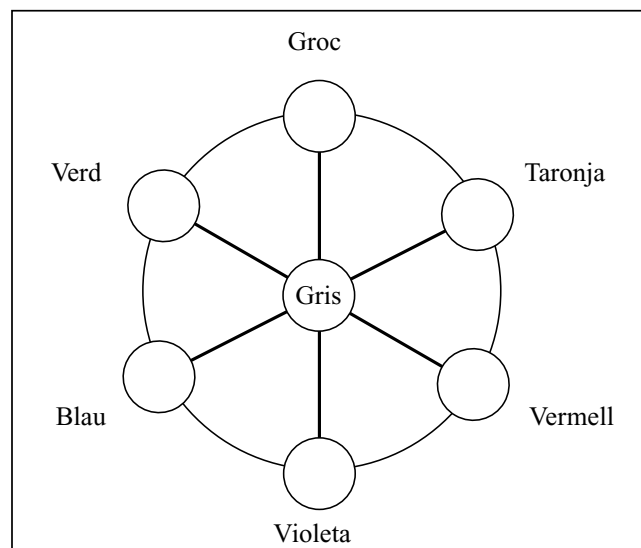


FIGURA 9. Cercle cromàtic.

tota una gamma de *grisos*. Els grisos també s'obtenen mesclant: groc + violet, taronja + blau i vermell + verd (figura 9).

Bases de color o pastes colorants

L'última etapa del procés productiu de pintures implica l'*ajust de color*. Aquesta operació no es pot portar a terme addicionant pigments a la pintura, perquè no es dispersarien. Per aquest motiu, s'acostuma a afegir, a les pintures, les denominades bases de color o pastes colorants. Aquests productes són

en realitat pintures, ja que porten lligant o resina, dissolvent (l'aigua per a pintures a l'aigua, *white spirit* per a esmalts i pintures sintètiques, dissolvents forts per a epòxid, poliuretans, nitrocel·lulosa, clorocautxú), pigment (habitualment un de sol) i additius (generalment dispersants i humectants). La correcta elecció de cadascun dels components de la base de color ha de coincidir amb el criteri de compatibilitat de la pintura base.

La quantitat de pasta colorant que s'afegeix a una massa de pintura, com a màxim, és del 2 %. Convé destacar que, en la formulació d'una pintura s'agreguen pigments en l'etapa de la dispersió i en la d'acabament. El nombre de tipus de pigments d'una pintura és la suma dels tipus de pigments agregats en cadascuna d'ambdues etapes.

A la pràctica, s'aconsegueix reproduir el color d'un patró escollint adequadament els pigments colorats que es vol dispersar i ajustant la massa de pintura fabricada mitjançant un dels següents procediments:

1) El color patró coincideix només amb un pigment. En aquest cas, el color de la tramesa que es vol fabricar s'aconsegueix addicionant la concentració aproximada de l'esmentat pigment en el procés de dispersió i, en l'etapa d'acabat, la concentració s'ajusta amb precisió mitjançant l'addició exacta de la base de color formulada amb l'esmentat pigment.

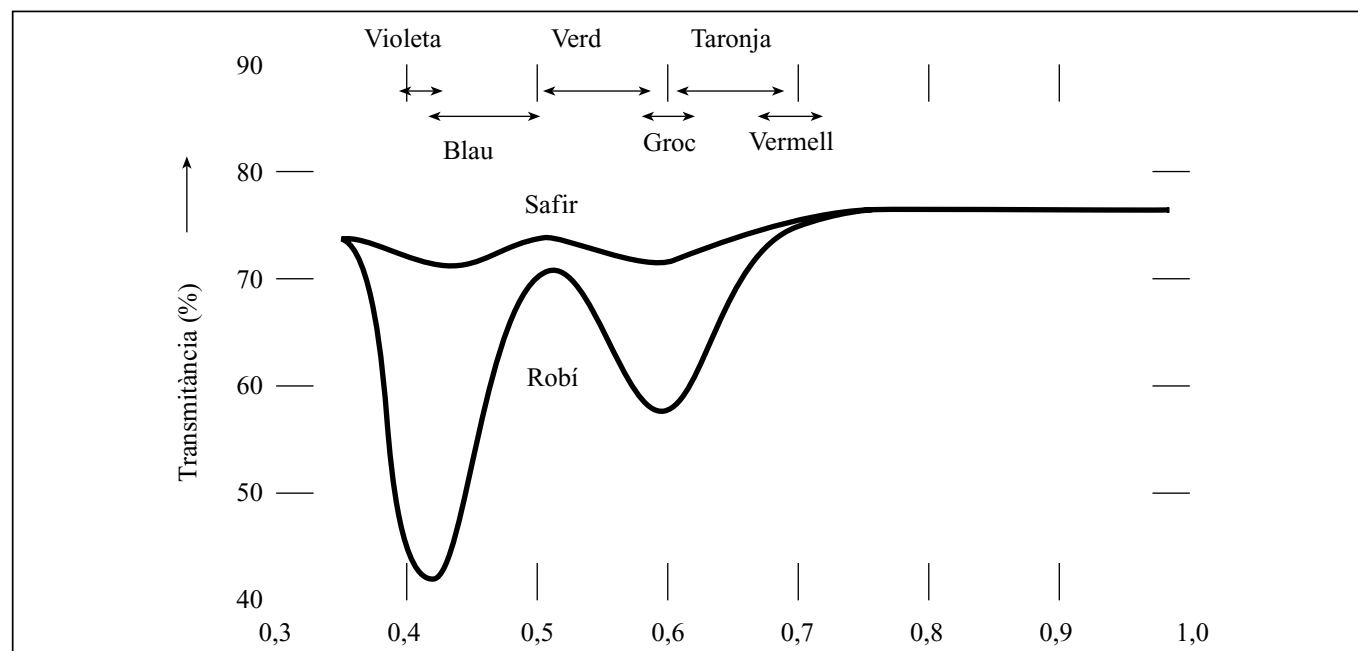
2) El color patró està comprès entre dos punts que, en el cercle cromàtic (figura 9) coincideixen amb dues tonalitats de pigment. La pintura resultant portarà la proporció adequada de cadascun dels dos pigments esmentats. Es pot ajustar aquest color modificant la concentració d'un dels pigments.

3) Les coordenades del color patró estan situades dins del triangle format per tres pigments de diferent tonalitat. Aquest color es pot reproduir modificant les concentracions de dos pigments. Si per causes diverses les coordenades de la pintura fabricada es deriven del pla esmentat, s'ha de corregir aquesta desviació afegint, a la mescla, un quart pigment en forma de pasta colorant.

4) El color està comprès entre quatre colors que constitueixen un tetraedre. Convé recordar que el blanc i el negre també són colors o pigments. Sota aquestes condicions es reproduïx el color del patró modificant tres concentracions de pigments. És la situació més còmoda a l'hora de reproduir un color, ja que al variar totes tres concentracions de pigments el color es desplaça en l'espai de les tres coordenades.

Pigments colorats

Un pigment és una substància insoluble (propietat que els distingeix dels colorants) en un determinat medi (pintura, plàstic, tinta...), que li proporciona color gràcies a la conjunció d'absorció selectiva de llum i reflexió.



TAULA 1. Pigments inorgànics agrupats pel seu color										
Pigments	Groc verd	Groc	Marró	Taronja	Vermell	Violat	Blau	Blau verd	Verd	Negre
Òxid de ferro		Groc òxid de ferro	Marró òxid de ferro		Vermell òxid de ferro					Negre òxid de ferro
Cromat de plom	Groc crom			Taronja crom	Vermell molibdat					
Òxid de crom								Verd òxid de crom hidratat	Òxid crom	
Ultramar					Vermell ultramar	Violat ultramar	Blau ultramar			
Blau de ferro							Blau ferro			
Cadmi	Groc cadmi			Taronja cadmi	Vermell cadmi					
Sulfur de ceri				Taronja sulfur de ceri	Vermell sulfur de ceri					
Vanadat de bismut	Vanadat de bismut									
Pigments colorats complexos inorgànics		Groc rútil de crom					Blau de cobalt		Verd de cobalt	Negre d'espinel·la
		Groc rútil de níquel	Marró rútil de manganès							
			Marró ferro de zinc							
			Marró ferro de crom							

Els pigments tenen colors si són capaços d'absorbir les radiacions dels altres matisos fonamentals. El robí és vermell perquè en l'espectre s'aprecia que absorbeix les radiacions blaves i grogues (figura 10), mentre que el safir, que té un gran interval d'energia prohibida, entre les bandes de valència i de conducció, apareix com si fos transparent.

La coloració dels pigments pot estar causada per: grups cromòfors on és possible la ressonància electrònica, presència de metalls de transició amb orbitals d'incomplets, estructures cristal·lines amb algun defecte que provoqui una distorsió de la xarxa o coexistència d'elements amb dos nivells de valència en el mateix compost. Els pigments colorats es caracteritzen perquè són capaços d'absorbir fotons gràcies a què els electrons salten a estats energètics, la diferència d'energies dels quals coincideix amb les energies dels fotons. Així, la radiació electromagnètica emesa per l'objecte pigmentat és diferent de la rebuda, cosa que provoca una sensibilitat en l'ull que és interpretada pel cervell com a sensació de color.

Els pigments colorats poden ser orgànics i inorgànics i la causa del color ve donada per elements o grups cromòfors, elements o grups cromògens i elements o grups auxocroms. La combinació d'aquests tres tipus d'elements grups determinen les característiques del pigment (color, intensitat, tonalitat...).

Els elements o grups cromòfors absorbeixen quàntums de llum i adquireixen estats electrònics (figura 11) d'energies superiors, capaços de generar fotons de diferents colors.

En els pigments inorgànics, els cromòfors són elements de transició (Fe, Cu, Cr...) o grups radicals (NaS₃), (taula 1).

En els pigments orgànics, els grups cromòfors (figura 11) estan formats per dobles enllaços, dobles enllaços conjugats i electrons no compartits del nitrogen i del sofre.

A la taula 2 s'han reproduït els valors de la longitud d'ona i de la intensitat de diferents grups cromòfors.

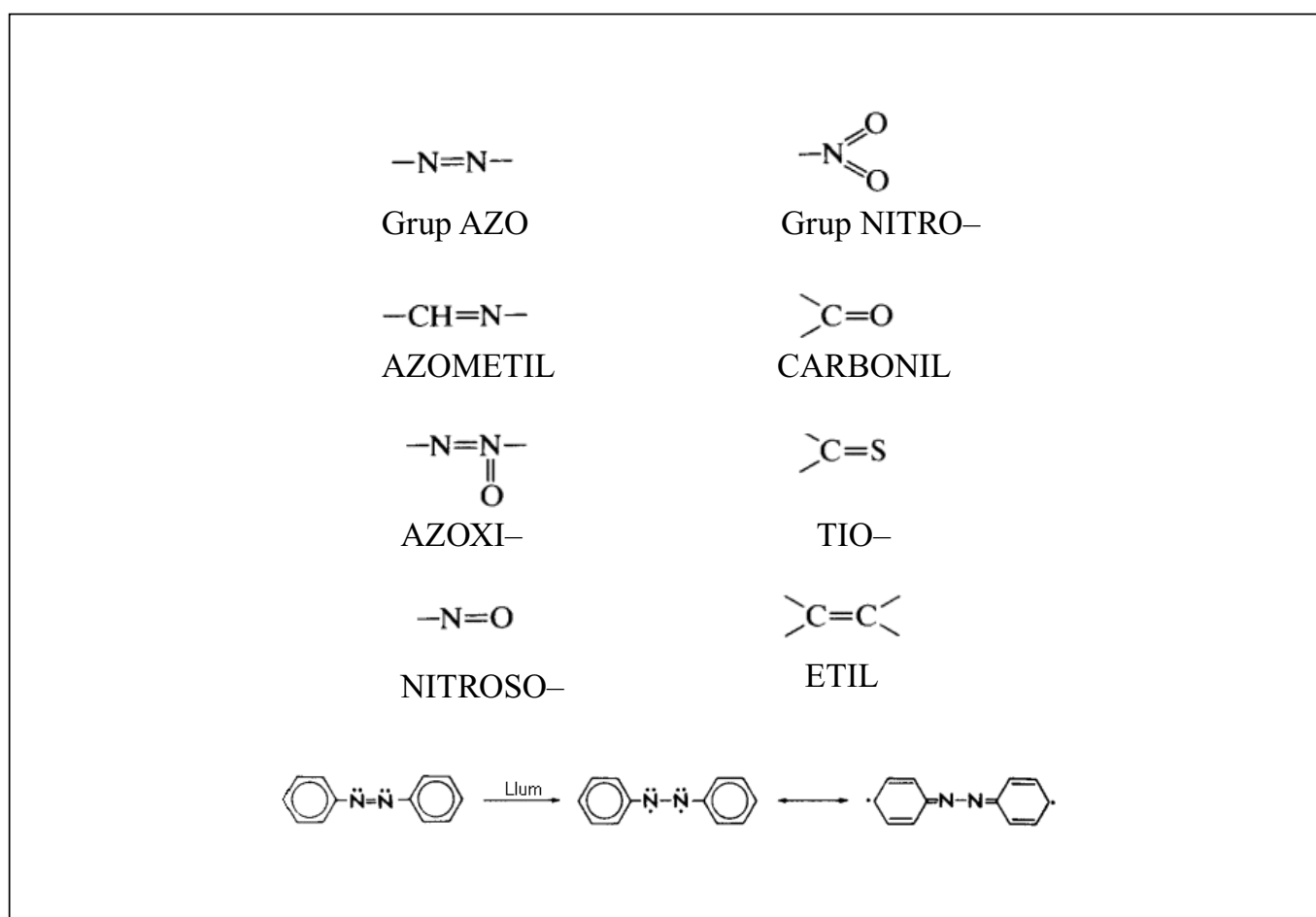


FIGURA 11. Grups cromòfors i ressonància d'un grup cromòfor en ser il·luminat.

TAULA 2. Valors de la longitud d'ona i de la intensitat de diferents grups cromòfors

Grup	Exemple	$\lambda_{\text{màx}}$ Å	Intensitat, E
C=C	Etilè	1 930	10 000
C=C	Acetilè	1 730	6 000
C=N	Acetoxima	1 900	5 000
C=N	Acetonitril	1 600	
C=O	Acetona	2 706	15,8
CHO	Acetaldehid	2 934	11,8
COOH	Àcid acètic	2 040	40
CONH ₂	Acetamida	2 080	
N=N	Diazometà	4 100	1 200
N=O	Nitrosobutà	3 000 ; 6 650	100 ; 20
NO ₂	Nitrometà	2 710	18,6
ONO	Nitrit d'octil	2 300 ; 3 700	2 200 ; 55
ONO ₂	Nitrat d'etil	2 700	12

Els elements o grups cromògens són aquells que, malgrat no ésser colorats per la seva estructura atòmica (Pb, Cd, Hg), poden donar coloració per interacció amb d'altres elements a la xarxa cristal·lina allà on es trobin (molts sulfurs i òxids de cations cromogènics presenten coloració).

Molts cops, els cromòfors i cromògens van acompanyats pels grups auxocroms (del grec *auxanein*, augmentar) que modifiquen o reforcen el color del cromòfor o cromogen. En els pigments inorgànics acostumen a ser S, O, o halògens, mentre que en els orgànics (figura 12) grups que desplacen l'espectre d'absorció cap a majors longituds d'ona.

Algunes substàncies iòniques són colorades perquè tenen el defecte F (*Farbe*, color en alemany). Es deu a l'existència d'una vacant aniónica en l'estructura cristal·lina. Aquesta manca de càrrega negativa es compensa amb l'existència d'electrons semilliuers (figura 13).

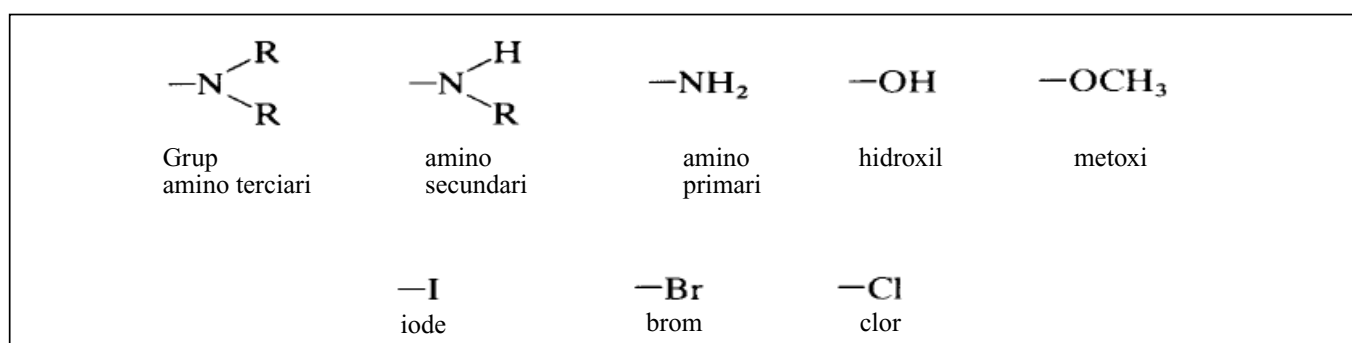


FIGURA 12. Grups orgànics auxocroms.

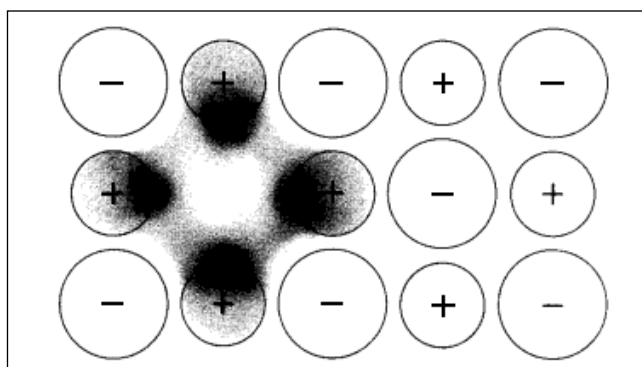


FIGURA 13. Un centre F és una vacant d'ió negatiu amb un electró lligat en excés a la vacant. La distribució dels electrons en excés es troba principalment sobre els ions metàl·lics positius adjacents a la posició vacant.

Per concloure, es pot afirmar que, coneixent la naturalesa de la llum i del color, s'està en condicions, avui dia, d'aconseguir les diferents tonalitats del món que ens envolta, si escollim adientment els pigments orgànics o inorgànics per formular les variades pintures que el comerç ofereix.

Bibliografia

- KÜPPERS, H. *Fundamentos de la teoría de los colores*. Barcelona: Gustavo Gili, 1992.
- ENDRISS, H. *Inorganic Coloured Pigments Today*. Hannover: Vincentz-Verlag, 1998.
- BUXBAUM, G. *Industrial Inorganic Pigments*. Hannover: Vincentz-Verlag, 1993.

HERBST, W.; HUNGER, K. *Industrial Organic Pigments*. Hannover: Vincentz-Verlag, 1993.

Adreces d'Internet:

- <http://www.nubiola.com>
- <http://www.sintoplast.com/Color/>
- <http://roble.pntic.mec.es/~mbedmar/iesao/quimica/teoria-fi.htm>
- <http://www.iaa.upf.es/~giribet/iris/teoria/llum-cat.html>
- <http://www.infor.uva.es/~descuder/proyectos/animacion/color.htm>
- http://www.lilliputmodel.com/articulos/cebrian/teoria_color1.htm
- <http://www.newsartesvisuales.com/funda/COLOR1.htm>

Autors

Pere Molera Solà és professor del Departament d'Enginyeria Química i Metal·lúrgia de la Universitat de Barcelona i dirigeix el Màster en Tecnologia de Pintures a la Universitat de Barcelona.

Miguel del Valle Sánchez és col·laborador del Departament d'Enginyeria Química i Metal·lúrgia de la Universitat de Barcelona i de la Fundació Bosch i Gimpera; a/e: mvallesa7@qui.ub.edu.

Ricard March Raurell és director d'una part de les línies d'investigació de Nubiola i col·laborador de la Fundació Bosch i Gimpera; a/e: r.march@nubiola.com.