

PRÀCTICA 7

COLORIMETRIA TRIESTÍMUL I.

L'ESPAI CIEXYZ1931

Laboratori de Psicofísica de la Visió

Grau d'Òptica i Optometria

M^a Amparo Díez Ajenjo i M^a Josefa Luque Cobija

Curs acadèmic 2017-2018

COLORIMETRIA TRIESTÍMUL I. L'ESPAI CIEXYZ1931

1.OBJECTIU

Aprendre a caracteritzar i operar amb colors, emprant la descripció en valors triestímul i en coordenades cromàtiques.

2. FONAMENT TEÒRIC

Conceptes bàsics de colorimetria triestímul

Quan cerquem de definir el color d'un objecte qualsevol, la major part de les vegades coincidirem varies persones en utilitzar la mateixa paraula per a caracteritzar-lo (per exemple, una poma 'roja'), però, moltes vegades també ens trobarem amb objectes que el seu color 'canvia' segons la persona que el definix (jersei 'verd', 'blau-verdós', 'blavós', ...)

Físicament, i per a evitar ambigüetats, un color es pot definir numèricament. La visió del color normal és **tricromàtica**. Si P_1 , P_2 i P_3 són tres colors que acomplixen la condició de que cap d'ells es pot obtenir mesclant els altres dos, als que anomenarem **primaris**, qualsevol color C podrà igualar-se mitjançant una mescla d'estos tres colors (Figura 1), o el color C i un dels primario podrà igualar-se mitjançant la mescla dels altres dos (Figura 2). És a dir, per a qualsevol observador normal, existix una única combinació de valors, α_1 , α_2 i α_3 , que verifica

$$C \equiv \alpha_1 P_1 + \alpha_2 P_2 + \alpha_3 P_3 \quad (\text{Eq. 1})$$



Figura 1 Un observador ha igualat el color de l'esquerra (C_1) amb (aprox.) 5.6 cd/m^2 del primari morat, 20 cd/m^2 del primari grogenc i 4.6 cd/m^2 del primari verd.

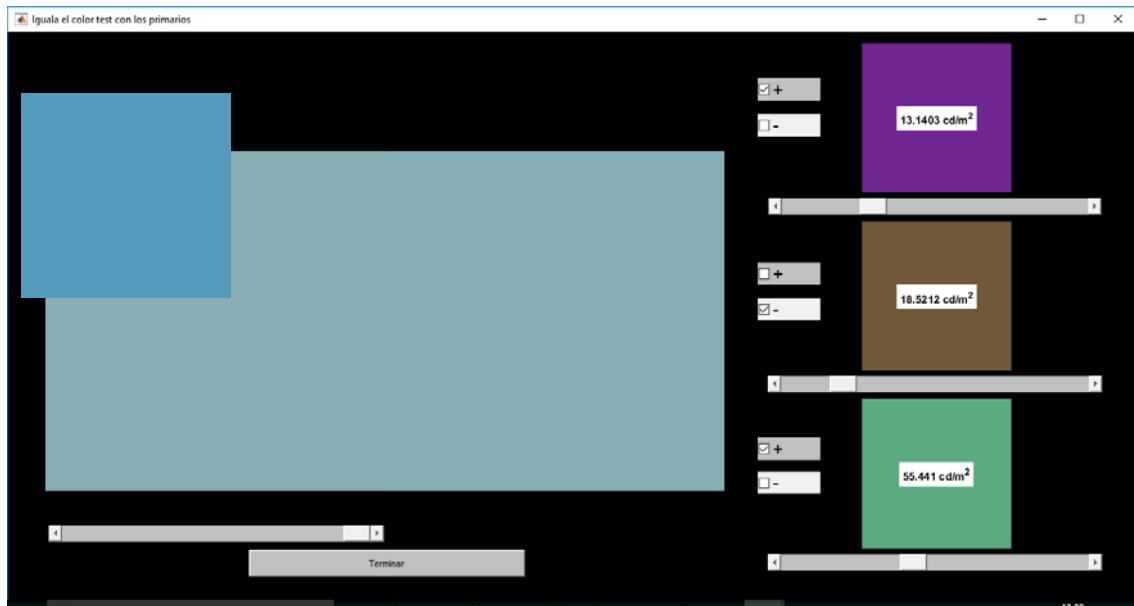


Figura 2 El color del rectangle superior esquerre (C_1) no es pot igualar directament amb la mescla de primaris. Però eixe color, mesclant amb (aprox.) 18.5cd/m^2 del primari grogenc, es pot igualar mesclant 13.1cd/m^2 del primari morat i 55.4cd/m^2 del primari verd.

Açò implica que, per a definir un color, només cal conèixer una combinació de números, α_1 , α_2 i α_3 , o qualsevol altra combinació derivada d'esta. Els descriptors més senzills que podem obtenir són els anomenats **valors triestímul**, que es defineixen com el quocient entre les luminàncies dels primaris necessàries per a igualar el color \mathbf{C} , $Y_C(P_i)$, dividides per las luminàncies dels primaris necessàries per a igualar un estímulo de referència, \mathbf{R} , $Y_R(P_i)$

$$\mathbf{T}(\mathbf{C}) = \left(\frac{Y_C(P_1)}{Y_R(P_1)}, \frac{Y_C(P_2)}{Y_R(P_2)}, \frac{Y_C(P_3)}{Y_R(P_3)} \right)$$

(Eq. 2)

El color de referència sol ser acromàtic (Figura 3). Les luminàncies dels primaris que igualen el color de referència s'anomenen **unitats tricromàtiques**. Si calculem els valors triestímul dels colors C_1 de l'exemple de la Figura 1, tindrem:

$$\mathbf{T}(C_1) = \left(\frac{5.6}{28}, \frac{20}{58.9}, \frac{4.6}{83.4} \right) = (0.2, 0.34, 0.06)$$

Per al color C_2 de la Figura 2, caldrà tenir en compte que realment l'operació que hem fet és

$$\mathbf{C} + \alpha_2 \mathbf{P}_2 \equiv \alpha_1 \mathbf{P}_1 + \alpha_3 \mathbf{P}_3 \quad (\text{Ec. 3})$$

on

$$\mathbf{C} \equiv \alpha_1 \mathbf{P}_1 - \alpha_2 \mathbf{P}_2 + \alpha_3 \mathbf{P}_3$$

Quan passa açò, la luminància del primari que hem mesclat amb el color que volem descriure, es considera negativa. Aleshores, els valors triestímul d'este color en este sistema de primaris serà:

$$\mathbf{T}(C_2) = \left(\frac{18.5}{28}, \frac{-13.1}{58.9}, \frac{55.4}{83.4} \right) = (0.66, -0.22, 0.66)$$

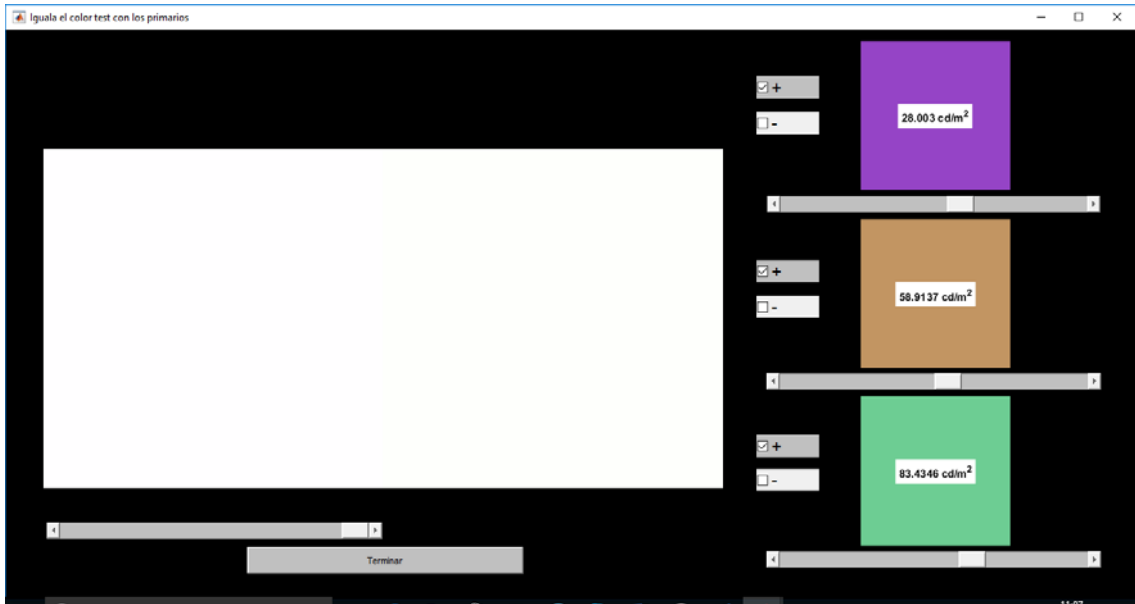


Figura 3. Determinació de les unitats tricromàtiques amb el sistema de primaris dels exemples anteriors. L'estímul de referència és un blanc, i les unitats tricromàtiques són (aprox.) (28 cd/m², 58.9 cd/m², 83.4 cd/m²).

El conjunt de primaris i l'estímul de referència triats defineixen un espai **triestímul de representació de color**. Els valors triestímul tenen estructura d'espai vectorial, ja que se verifiquen les anomenades regles de Grassmann:

1.- Proporcionalitat:

$$\mathbf{T}(kA) = k\mathbf{T}(A) \quad (\text{Ec.4})$$

2.- Aditivitat

$$\mathbf{T}(A+D) = \mathbf{T}(A) + \mathbf{T}(D) \quad (\text{Eq.5})$$

La llei de proporcionalitat indica que, quan canviem la lluminància d'un color, els seus valors triestímul canvien pel mateix factor. En un intent d'aïllar els canvis de lluminància dels canvis de la forma de l'espectre d'energia d'un estímul, es defineixen les **coordenades cromàtiques**, $\mathbf{t}(C)$, d'un color C, com els valors triestímuls normalitzats a la suma dels mateixos:

$$\mathbf{t}(C) = \frac{\mathbf{T}(C)}{\sum_1^3 T_i(C)} \quad (\text{Eq. 6})$$

Les coordenades cromàtiques d'un color sumen 1, pel que no són linealment independents (és a dir, una d'elles no aporta informació nova al voltant del color). Com per a descriure un color fan falta tres descriptors independents entre sí, s'utilitzen dues de les coordenades cromàtiques i la lluminància, $Y(C)$.

L'espai CIE1931

En esta pràctica, treballarem amb un conjunt de primaris, el sistema XYZ CIE1931 (XYZ), que tenen com a propietat que a) els valors triestímul de tots els colors reals són positius i b) el segon valor triestímul és igual a la lluminància del color. La notació que emprarem en este espai serà la següent:

-*Valors triestímul.* Els valors triestímul s'anomenem pels símbols X, Y i Z (Y coincideix amb la lluminància). Per exemple, el color A, rogenc, de la Figura 4, ve descrit pel vector de valors triestímul $\mathbf{T}(A) = (X(A), Y(A), Z(A)) = (47, 29, 11)$, que podem representar en un diagrama 3D:

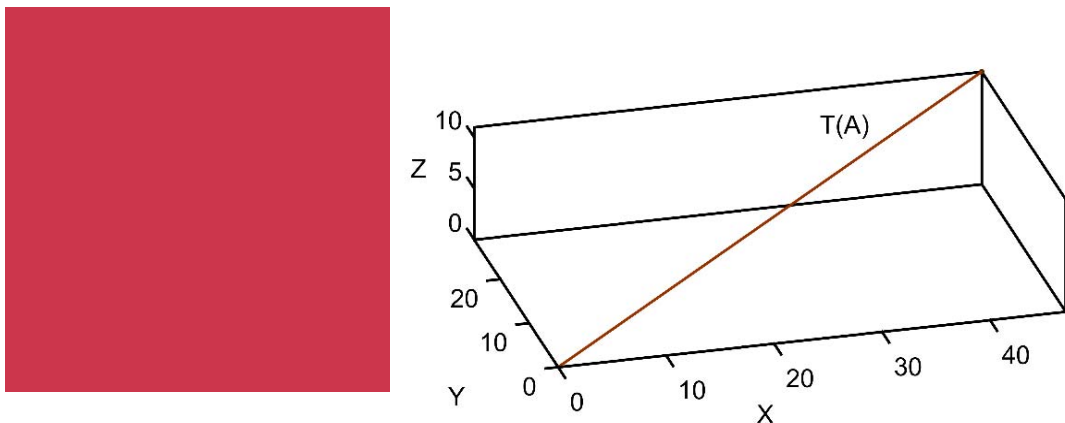


Figura 4. El color A (esquerra) i els seus valors triestímul, $\mathbf{T}(A)$, representats en l'espai CIEXYZ.

En este espai, les lleis de Grassman s'escriuran com

1.- Proporcionalitat:

$$(X(kA), Y(kA), Z(kA)) = k(X(A), Y(A), Z(A)) \quad (\text{Ec. 7})$$

2.- Aditivitat

$$(X(A+D), Y(A+D), Z(A+D)) = (X(A), Y(A), Z(A)) + (X(D), Y(D), Z(D)) \quad (\text{Ec. 8})$$

- *Coordenades cromàtiques i Iluminància.* Les coordenades cromàtiques $t(A)$, s'anomenen pels símbols (x,y,z) , i es defineixen com

$$x = \frac{X}{X + Y + Z}$$

$$y = \frac{Y}{X + Y + Z}$$

$$z = \frac{Z}{X + Y + Z}$$

(Eq. 9)

És fàcil demostrar que, conegudes les coordenades cromàtiques i la lluminància, els valors tristímul es calculen com:

$$X = \frac{x}{y}Y$$

$$Y = Y$$

$$Z = \frac{z}{y}Y$$

(Ec. 10)

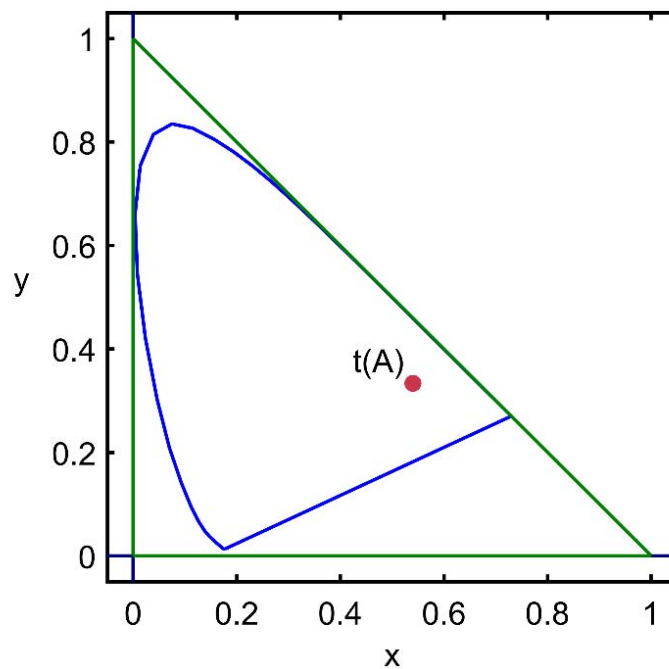


Figura 5. Triangle dels primaris XYZ (verd), locus espectral i recta dels púrpures (blau) i coordenades cromàtiques del color A ($t(A)=(x(A),y(A))$).

Per a descriure un color emprarem les seues coordenades cromàtiques (x,y) i la seua lluminància Y. Les coordenades (x,y) representen la cromaticitat de l'estímul en un diagrama 2D, al que anomenarem "diagrama cromàtic" (Figura 5). El color d'abans, en coordenades cromàtiques i lluminància es definiria com: $xyY(A)=(0.54, 0.33, 29)$.

Al diagrama cromàtic és usual representar les coordenades cromàtiques dels colors espectrals (línia blau de la Figura 5), a l'anomenat **locus spectral**. El locus spectral inclou tots els colors reals possibles, com vorem a l'apartat següent.

Mescles de colors

De les equacions (4) i (5) és fàcil deduir que quan fem mescles entre dos colors, les coordenades cromàtiques del color resultant es trobaran a un punt de la recta que unix ambos colors al diagrama cromàtic, més a prop del color en el que la suma dels seus valor triestímul siga major:

$$\mathbf{t}(k_1A + k_2B) = \frac{\mathbf{T}(k_1A + k_2B)}{\sum_1^3 \mathbf{T}(k_1A + k_2B)} = \frac{k_1 \mathbf{T}(A) + k_2 \mathbf{T}(B)}{\sum_1^3 \mathbf{T}(k_1A + k_2B)} =$$

$$\frac{k_1 S(A) \mathbf{t}(A) + k_2 S(B) \mathbf{t}(B)}{S(k_1A + k_2B)} = \frac{k_1 S(A) \mathbf{t}(A) + k_2 S(B) \mathbf{t}(B)}{k_1 S(A) + k_2 S(B)}$$

(Eq. 11)

on $S(C)$ és la suma de valors triestímul del color C. A esta equació, per la seua semblança amb l'equació del centre de gravetat d'un sistema de partícules, se l'anomena **regla del centre de gravetat**.

Açò significa que qualsevol color real, que pot aconseguir-se mesclant colors espectrals, cal que estiga necessàriament dins de la regió limitada pel locus spectral. La línia recta del locus representa els púrpures purs, els colors que s'igualen mitjançant una mescla del primer blau i de l'últim roig del locus.

No totes les combinacions numèriques de valors triestímul XYZ donen lloc a una representació d'un color real. Existeixen combinacions que no expresen cap color real. De fet, aquelles combinacions numèriques que caiguen fora del locus spectral no serán colors reals (fixeu-se que este és just el cas dels primaris XYZ). En esta pràctica, generarem colors mitjançant un monitor, mesclant tres primaris reals (un roig, un verd i un blau, amb certes lluminàncies màximes). Açò implica que no tots els

colors reals van a poder-se reproduir, sinò només els que siguen iguals a alguna mescla d'estos primaris. El conjunt de colors que es pot obtenir mesclant els primaris del monitor s'anomena *gama de colors reproduïbles del monitor*, i l'hem representat amb el paralelepíped de la Figura 6 esquerra i el triangle de primaris de la Figura 6 dreta. Cal anar amb compte amb els judicis basats en esta segona figura: aplicant la regla del centre de gravetat, es despren que el triangle dels primaris mostra les cromaticitats que es poden generar mesclant els tres primaris del monitor. Però tot i això, la lluminància màxima dels primaris està limitada, el que vol dir que no totes les cromaticitats seran generables amb qualsevol lluminància.

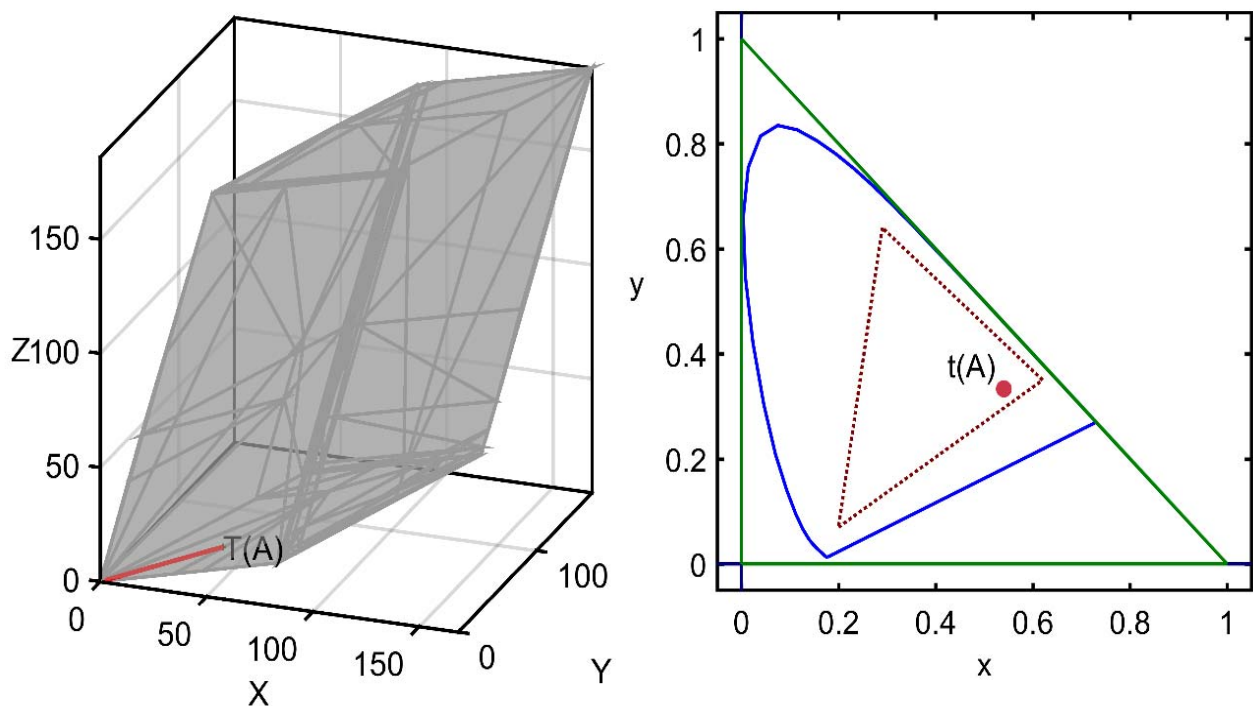


Figura 6. Gama de colors reproduïbles per un monitor CRT, representada a l'espai triestímul (paralelepíped gris, esquerra) i al diagrama cromàtic (triangle roig, dreta). Com es pot veure, el color roig de la Figura 4 pertany a la gama de colors reproduïbles pel monitor.

3. MATERIAL EMPRAT

Emprarem el programa executable *mezclascolor*, a l'entorn Matlab, per a familiaritzar-nos amb l'espai colorimètric CIE1931.

4. REALITZACIÓ DE LA PRÀCTICA

1. Calcula les coordenades cromàtiques dels següents estímuls. Representals al diagrama cromàtic i indica quins serien colors reals i quins reproduïbles.

X	Y	Z
0	40	80
30	10	0
-30	10	0
20	0	9
50	5	100
100	100	100
30	20	10
30	40	10
30	20	50
30	20	-50
200	300	50
5	30	16
53	20	73
53	100	273

2. Calcula els valors triestímul dels colors de la taula següent. Representals al diagrama cromàtic i indica quins serien colors reals i quins reproduïbles.

x	y	Y
0.1100	0.4300	10
0.9600	0.9100	-5
0	-0.1800	20
-0.7700	-0.2600	30
0.8200	-0.1500	10
-0.8700	0.1400	0
-0.0800	0	0
0.3000	0.5800	90
0.2600	0.7400	100
-0.8000	0.1400	-10
0,3900	0,4900	80
0,300	0,2500	50
0,2600	0,1800	30
0,5100	0,4100	80

3. Fem mescles. Tria un color que es pugui generar al monitor de la taula del apartat 1. Després, introdueix un color d'igual cromaticitat, però de lluminància distinta. Calcula els valors triestímul i les coordenades cromàtiques del color resultant. On es representen al diagrama cromàtic? On es representen a l'espai triestímul? Descriu l'aparença dels estímuls resultants. Torna a fer el mateix procediment per a un color reproduïble de l'apartat 2.
4. Continuem amb mescles. Tria un color que es pugui generar al monitor de la taula de l'apartat 1. Introdueix un color de diferent cromaticitat. Com són els valors triestímul del color resultant? On es representen al diagrama cromàtic? On es representen en l'espai triestímul? Descriu l'aparença dels estímuls resultants. Torna a fer el mateix procediment per a un color reproduïble de l'apartat 2.
5. Deixant fixa la cromaticitat dels colors d'una de les mescles de l'exercici anterior, canvia la proporció de les lluminàncies, mantenint la suma de les mateixes constant. En este exercici, la suma de les lluminàncies de ambos colors haurà de ser de 40 cdm^2 , i els passos de canvi hauràn de ser d'increments o decrements de 5 cdm^2 . Què passa amb els valors triestímul de la mescla? I amb les coordenades cromàtiques? Com canvia l'aparença de l'estímul mescla?
6. Mescla el color 7 de la taula de l'exercici 2 amb qualsevol altre color de la taula de l'exercici 1, amb una proporció de lluminàncies tal que pugues fer que el color de la mescla resultant siga real i reproduïble. Torna a fer el procediment mesclant el color 5 de la taula 2 amb qualsevol altre color de la taula 1. Dóna com a resultat els valors triestímul i les coordenades cromàtiques del color resultant i la representació del resultat al locus espectral.

ANÁLISI DE RESULTATS

Analitzar en cadascun dels casos l'efect que produeixen els canvis suggerits. Deducir:

- Com es pot canviar la luminància d'un estímul sense variar la seua cromaticitat a l'espai XYZ i en xyY
- Com es pot canviar la cromaticitat d'un estímul sense variar la seua luminància a l'espai XYZ i en xyY
- Com es pot canviar la luminància d'una mescla a partir dels colors que la formen sense variar la seua cromaticitat a l'espai XYZ i en xyY
- Com es pot canviar la cromaticitat d'una mescla a partir dels colors que la formen sense variar la seua luminància a l'espai XYZ i en xyY. En particular, Com es pot aconseguir que la cromaticitat del color mescla siga més semblant a un dels dos colors amb els que s'ha obtés?

CERCA BIBLIOGRÀFICA

Fes una cerca bibliogràfica dels llibres on es pot trobar informació al voltant dels espais de representació ací emprats i de com fer mescleres de colors, indicant títol i capítols. (Mínim 5)

Cerca també en Internet pàgines web (en castellà, valencià o anglés) amb informació al voltant de la caracterització física del color i el seu ús, indicant la direcció URL de la pàgina i una breu descripció del que consideres interessant de la web (Mínim 10)

5.RESULTATS

Taula 1:

Color	Valors triestímul			Coordenades cromàtiques i luminància			¿Real? SI/NO	¿Reproducible? SI/NO
	X	Y	Z	x	y	Y		
1	0	40	80					
2	30	10	0					
3	-30	10	0					
4	20	0	9					
5	50	5	100					
6	100	100	100					
7	30	20	10					
8	30	40	10					
9	30	20	50					
10	30	20	-50					
11	30	20	-50					
12	5	30	16					
13	53	20	73					
14	53	100	273					

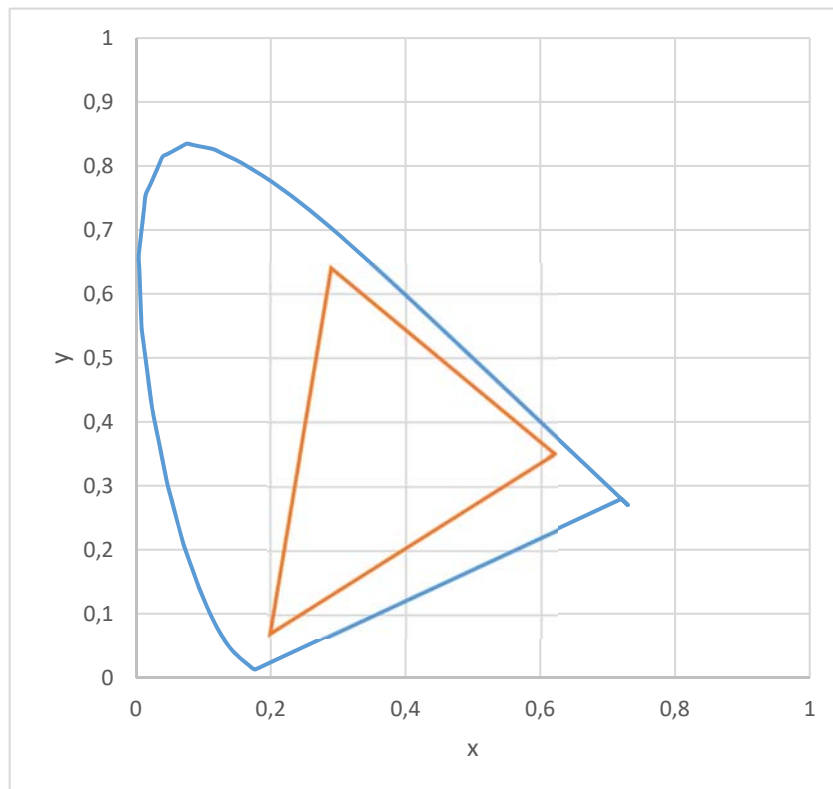
Taula 2:

Color	Valors triestímul			Coordenades cromàtiques i luminància			¿Real? SI/NO	¿Reproducible? SI/NO
	X	Y	Z	x	y	Y		
1				0.1100	0.4300	10		
2				0.9600	0.9100	-5		
3				0	-0.1800	20		
4				-0.7700	-0.2600	30		
5				0.8200	-0.1500	10		
6				-0.8700	0.1400	0		
7				-0.0800	0	0		
8				0.3000	0.5800	90		
9				0.2600	0.7400	100		
10				-0.8000	0.1400	-10		
11				0,3900	0,4900	80		
12				0,3000	0,2500	50		
13				0,2600	0,1800	30		
14				0,5100	0,4100	80		

Taula 3:

Color: _____	Valors triestímul			Coordenades cromàtiques i luminància		
	X	Y	Z	x	y	Y
1						
2						
Mescla						

Color: _____	Valors triestímul			Coordenades cromàtiques i luminància		
	X	Y	Z	x	y	Y
1						
2						
Mescla						



Taula 4:

Color	Valors triestímul			Suma de Valors triestímul	Coordenades cromàtiques i luminància		
	X	Y	Z	S	x	Y	Y
1							
2							
Mescla							

Color	Valors triestímul			Suma de Valors triestímul	Coordenades cromàtiques i luminància		
	X	Y	Z	S	x	Y	Y
1							
2							
Mescla							

Taula 6:

	X	Y	Z	x	y	Y
Color 1				-0.08	0	0
Color 2						
Mescla						
Color 1				0.82	-0.15	10
Color 2						
Mescla						