

## **Títol: Demo\_Estimuls. Materials per a la generació d'estímuls visuals a l'aula.**

**Autors:** Dra. M<sup>a</sup> Josefa Luque Cobija<sup>1</sup>, Dr. Jesús Malo López<sup>1</sup>, Dra. Dolores de Fez Sáiz<sup>2</sup>, Dra. Amparo Díez Ajenjo<sup>3</sup>, Dra. María del Carmen García Domene<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Titular d'Universitat, Departament d'Òptica, Universitat de València.

<sup>2</sup>Titular d'Universitat, Departament d'Òptica, Farmacologia i Anatomia, Universitat d'Alacant.

<sup>3</sup>Directora de la Unitat d'Optometria, Fundació Lluís Alcanyís.

<sup>4</sup>Investigadora Doctor Junior, Càtedra Alcon, Departament d'Òptica, Universitat de València.

### **1. Introducció**

Els alumnes del grau en Òptica i Optometria i del màster en Optometria avançada i ciències de la visió s'enfronten al problema d'haver de dissenyar experiments psicofísics sense moltes de les destreses necessàries, en particular sense un coneixement adequat dels mètodes de generació i control d'estímuls. És veritat que el pla d'estudis inclou assignatures en què es revisa la manera de caracteritzar colorimètricament un estímul, però entre conèixer com descriure un color i generar i manipular el color d'un estímul per a fer experiments hi ha una distància abismal, que es podria salvar amb uns mínims coneixements d'informàtica.

De fet, en els extints estudis de diplomatura en Òptica i Optometria, dintre del marc de l'assignatura de Colorimetria i visió del color, els alumnes adquirien aquest coneixement pràctic. La possibilitat de generar i manipular estímuls visuals permetia, per una banda, facilitar la comprensió de molts experiments descrits en diverses assignatures, i per altra el disseny d'experiments de visió. De fet, el segon vessant va ser aprofitat particularment en l'assignatura Mètodes no invasius de diagnòstic clínic, on s'avaluava els estudiants pel seu disseny d'un test psicofísic de diagnòstic d'alteracions del sistema visual. Aquesta experiència ha estat molt positiva per al professorat, i a jutjar pels resultats finals de l'assignatura i per l'interès mostrat pels estudiants que després han continuat treballant en aquesta línia, no del tot desaproveitada.

En desaparèixer l'assignatura de Colorimetria dels nous plans d'estudi, ens hem trobat amb la impossibilitat de continuar amb aquesta manera d'aprendre psicofísica de la visió. Per tal motiu, hem desenvolupat una eina d'ús senzill, el programa **demo\_estimuls** per a entorn Matlab, que permet a l'estudiant amb coneixements de visió generar i manipular estímuls estacionaris. La primera versió d'aquest software fou introduïda el curs 2011-2012 en dues assignatures del nou pla d'estudis del grau en Òptica i Optometria: (34319) Mètodes psicofísics per a la detecció i el seguiment de patologies visuals –optativa– i (34311) Mètodes d'exploració clínic –troncal–, les dues de quart curs. En la primera assignatura, amb aquest programa es fa una pràctica de construcció d'un test psicofísic de mesura de la sensibilitat al contrast, el guió de la qual es

pot veure a la documentació adjunta (apèndix 1). En la segona, es fa servir en les classes presencials, per a ajudar a introduir conceptes i explicar tests de visió (apèndix 2). Amb l'oferta de cursos no presencials en el màster d'Optometria, preveiem un major ús d'aquesta aplicació informàtica. De fet, aquest curs l'hem introduïda en dues noves assignatures, (43872) Mètodes òptics i psicofísics d'avaluació, del màster en Optometria avançada i ciències de la visió i en Psicofísica de la visió (34295) del grau en Òptica i Optometria. A la Universitat d'Alacant també es fa servir el programa com a eina per a generació d'estímuls en pràctiques de laboratori, substituint el software CVD que s'utilitzava fins ara. En l'apèndix 3 es mostra el guió d'una pràctica de generació de tests de detecció d'anomalies cromàtiques congènites, realitzada en l'assignatura 24035–Psicofísica i percepció visual. Com a resultat d'aquestes proves en diverses assignatures, hem introduït diferents modificacions i millores en el programa, i encara preveiem noves modificacions.

Una descripció del programa informàtic i un resum del treball fet fins ara a l'aula s'ha presentat en el *6th International Conference of Education, Research and Innovation, Seville - 18th-20th November 2013*, amb el títol “Tools for Generating Customized Visual Stimuli in Visual Perception Laboratories Using Computer Controlled Monitors”, i del qual són autores Dolores de Fez, María José Luque i María del Carmen García-Domene (apèndix 4). La comunicació, feta en format de presentació virtual, es pot visualitzar en el repositori MMedia de la Universitat de València

(<http://mmedia.uv.es/buildhtml?user=luquemj&path=/&name=iceridemoestim.mp4>). A més de noves modificacions del software, dirigides a incloure noves opcions de càlcul, ens estem concentrant a aprofitar aquest programa per a elaborar material didàctic en forma de llista de reproducció a Mmedia.uv. Hem començat enguany a petita escala (es pot consultar, per exemple, els materials sobre disseny d'estímuls per a l'estudi del mecanisme Koniocel·lular, [http://mmedia.uv.es/buildhtml?auth=metpsi&name=34420&user=luquemj&lang=es\\_ES&path=%2Fgeneracion%2F&send=Enviar](http://mmedia.uv.es/buildhtml?auth=metpsi&name=34420&user=luquemj&lang=es_ES&path=%2Fgeneracion%2F&send=Enviar); la clau d'accés és *metpsi*).

## 2. Descripció del software

El software **demo\_estimuls** consta de dues funcions per a Matlab 2008 o superior, *demo\_estimuls* i *contingutespacial*, que permeten generar estímuls colorimètricament controlats. També inclou un manual, en format html, el qual es pot consultar independentment o fent servir l'eina “Ajuda” del programa. N'adjuntem còpia en format \*.doc a l'apèndix 5.

Demo\_estimuls es basa en una llibreria de funcions per a Matlab, denominada COLORLAB, de la qual són autors, entre d'altres, Jesús Malo, M<sup>a</sup> José Luque, Dolores de Fez i Amparo Díez. La llibreria Colorlab és d'ús lliure i es pot descarregar de la pàgina <http://www.uv.es/vista/vistavalencia/software/colorlab.html>. Normalment, comprimim en format zip els arxius de demo\_estimuls i de la llibreria

COLORLAB per a pujar-les a l'Aula Virtual. Una vegada descarregats els arxius necessaris, l'estudiant hauria d'executar els passos següents:

- 1) Descomprimir els arxius a l'ordinador, respectant l'estructura de directoris original.
- 2) Obrir Matlab i afegir al camí de recerca del programa ("path") els directoris descomprimits, amb l'opció de "Afegeix amb subdirectoris" (Add with subfolders).
- 3) A la línia d'ordres de Matlab, escriure `demo_estimuls` i prémer la tecla Retorn.

Alternativament, per a usuaris de Matlab13 o superior, es pot fer servir un app. El procediment seria el següent:

- 1) Descarregar l'instal·lador `demoestimuls.mlappinstall`.
- 2) En Matlab2013, seleccionar la pestanya "APPS" i després "Instal·lar app".
- 3) A la finestra del navegador, seleccionar l'arxiu `demoestimuls.mlappinstall`.  
Amb això s'afegirà la nova aplicació a la llista de les aplicacions existents.

Per a usar la nova aplicació només cal ara seleccionar-la de la llista. S'ha de tenir en compte que, amb aquest procediment, no s'instal·len les llibreries: el software és completament opac i no és modificable per l'usuari.

Hem fet també proves amb el compilador de Matlab, que permet generar un arxiu `*.exe` a partir de les nostres funcions, que es pot executar sense necessitat de tindre instal·lat Matlab, la qual cosa facilitaria l'ús com a eina de treball personal de l'estudiant. El programa executable funciona correctament i seria un recurs molt útil, però malauradament caldria una llicència del compilador de Matlab de la qual no disposem. Matlab ens ha cedit tan sols una llicència temporal, de proves.

Com a demostració, incloem un conjunt de pel·lícules il·lustrant l'ús del programa. Les pel·lícules es focalitzen particularment en el problema de comprensió de la transformada de Fourier d'una imatge (relació entre mida de l'estímul i freqüència de tall de l'espectre de Fourier, relació entre orientació de l'estímul i de la transformada, exercicis de l'apèndix 2) i problemes d'aliàsing, que es presenten en l'elaboració del test de visió proposat en la pràctica 2 del temari de Mètodes psicofísics de diagnòstic (apèndix 1). Dintre de cada apèndix, un vincle permet reproduir la pel·lícula.



## **Apèndix 1**



# Mètodes Psicofísics per a la detecció i el seguiment de patologies visuals

## PRÀCTICA 2. DISSENY D'UN PANELL D'ESTÍMULS PER A LA MESURA DE LA FUNCIO DE SENSIBILITAT AL CONTRAST (CSF) ACROMÀTICA

### 1. Objectiu

Reflectir sobre les decisions que hem de prendre quan es vol dissenyar un panell d'estímuls adequat per a constituir una prova de detecció d'alteracions de la CSF acromàtica d'un pacient.

### 2. Coneixements previs

La funció de sensibilitat al contrast (*Contrast Sensitivity Function, CSF*) es pot mesurar mitjançant panells impresos, que mostren xarxes sinusoidals, de diferent freqüència espacial i contrast, amb els quals demanem a l'observador que accomplisca una tasca de reconeixement del patró espacial. Per a una freqüència espacial donada, el contrast disminueix progressivament i l'orientació de la xarxa, que l'observador ha de descriure, canvia a l'atzar, de manera que definim com a llindar de contrast per a aquella freqüència l'últim valor del contrast que permetia a l'observador d'encertar l'orientació de la xarxa (veg. Figura 1). L'elecció dels valors de freqüència, els contrastos utilitzats i la mida dels estímuls determinarà la precisió amb la qual obtindrem la CSF del pacient.

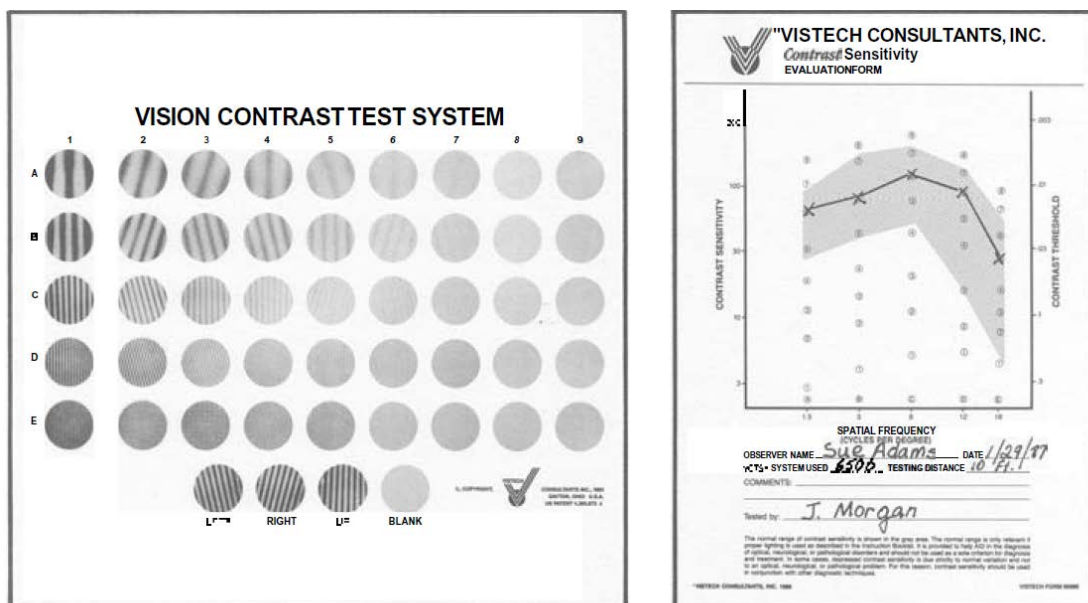


Figura 1: Test VISTECH de mesura de la sensibilitat al contrast acromàtic.

### 3. Mètode de treball

#### 3.1. Generació dels estímuls

Generarem les xarxes sinusoidals necessàries amb un sistema colorimètricament calibrat, constituït per un monitor CRT, controlat mitjançant una targeta gràfica de 8 bits. Per a construir els estímuls treballarem en Matlab, fent servir la llibreria de funcions COLORLAB i el programa **demo\_estimuls**, que ja hem vist a classe.

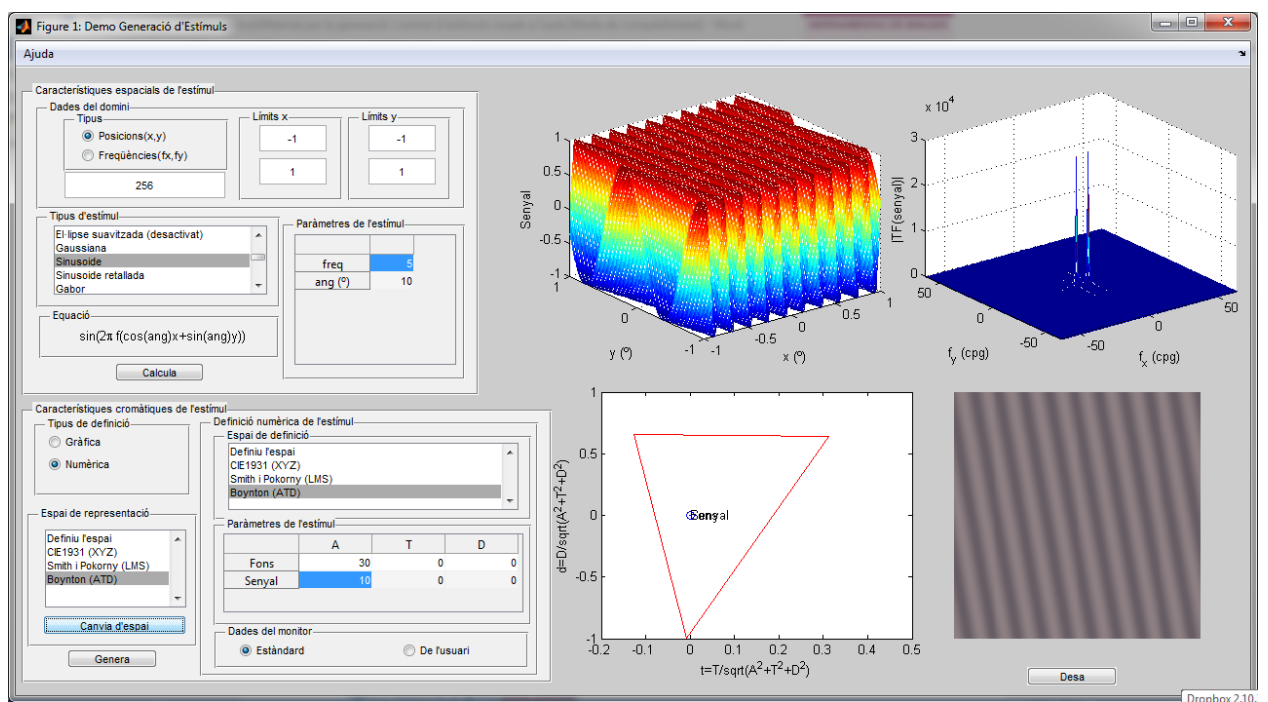


Figura 2: Finestra del programa **demo\_estimuls**.

Si bé en el punt 3.2 desenvoluparem amb més detall el conjunt de paràmetres que hem de fixar per a definir l'estímul, cal tenir en compte la informació que necessita el programa per a funcionar, que, resumidament, és la següent:

1. On situarem el sistema de referència espacial a l'estímul (¿al centre, en un vèrtex?)
2. La mida de l'estímul, en graus. Amb aquest valor, ompliu adequadament les caselles "Límits x" i "Límits y", d'acord amb el sistema de referència escollit en el pas 1.
3. La resolució de la imatge, en píxels. Recordeu el teorema del mostreig i assegureu-vos que les xarxes no tenen aliàsing. ([vegeu aliasing.avi](#))
4. La forma i els paràmetres que defineixen el perfil espacial de l'estímul (teniu una opció "Sinusoide"). Heu de decidir el valor de la freqüència espacial (compte amb l'aliàsing) i l'orientació (compte amb l'efecte oblic).
5. Els sistemes de representació del color en els quals generarem i descriurem els estímuls. Penseu que volem aïllar les respostes del mecanisme acromàtic.



6. El contrast de l'estímul. Recordeu que el programa no treballa directament amb contrastos. El que necessita, per una banda, és la informació de l'estímul de fons (la mitjana de la xarxa) i del senyal (l'amplària de la sinusoide).

Una volta heu generat un estímul adequat, podeu accedir a informació addicional clicant en la imatge. Així obtindreu: 1) les transformades de Fourier del senyal en cada direcció de l'espai de representació, 2) un panell on es mostra (en blanc) els píxels que contenen colors no reproduïbles pel monitor i que han estat aproximats per un color generable (figura 3, esquerra), i 3) l'estímul, a mida real (és a dir, fent un element de matriu igual a un píxel) (figura 3, dreta). Si l'estímul és correcte, el podeu guardar amb la barra d'eines de la figura en diferents formats (\*.fig, \*.jpg o \*.tif). Recordeu que JPEG és un format comprimit, amb pèrdues d'informació cromàtica.

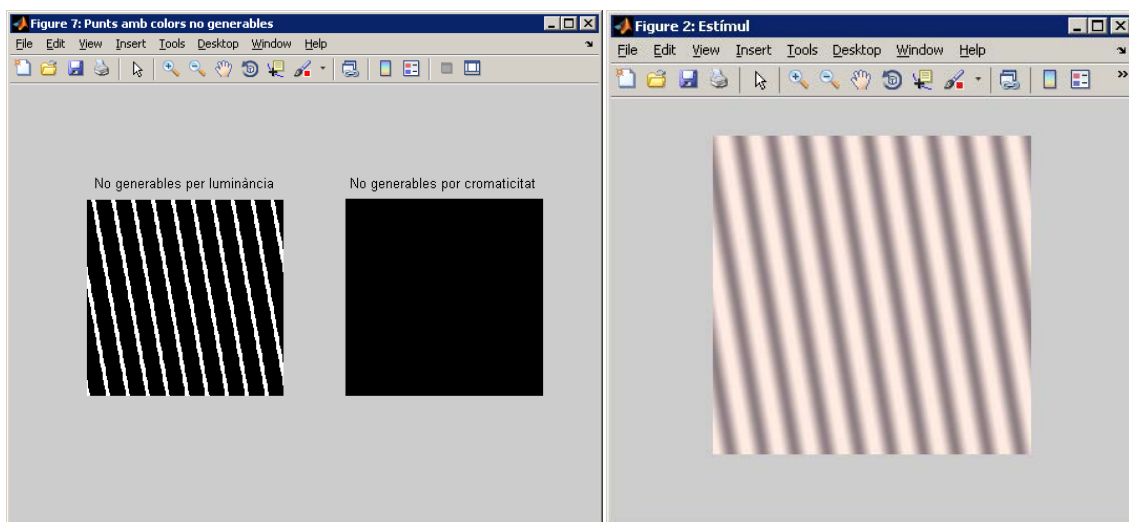


Figura 3. Exemple de sinusoide generada amb uns valors de contrast i luminància mitjana que fan que no siga generable per luminància, com es mostra en la figura de l'esquerra. Els píxels on el color no és generable es mostren codificats en blanc.

### 3.2. Tasques a fer

I. **Construcció del test:** Volem construir un panell per a mesurar la sensibilitat al contrast acromàtic d'un pacient, amb una tasca de reconeixement de l'orientació. Com que farem servir un mètode no adaptatiu (les freqüències a mesurar seran fixes, així com els contrastos disponibles), com en els panells impresos comercials, hem de prendre decisions raonades sobre els aspectes següents:

a) **La mida i la luminància mitjana dels estímuls**, que determinen per una banda la sensibilitat i per l'altra limiten la freqüència mínima generable.

b) **Les freqüències** que hem de generar. La mida angular de la imatge i la resolució determinen els valors màxims i mínims de freqüència. Recordeu, a més a més, que els sensors del sistema visual tenen una certa amplada de banda, cosa que limitarà com mostrejar el rang de valors de freqüència generable.

b) **Els valors del contrast** que generarem. Heu d'assegurar la possibilitat de mesurar el llindar d'un observador normal i d'un de patològic.

c) **El mètode de determinació del llindar.** ¿Com presentem els estímuls?  
¿Podem implementar un mètode simple de mesura –límits, escala, estímuls constants?  
¿Quin contrast es considerarà el llindar d'un subjecte?

**II. Definició del patró de normalitat:** Una vegada construït el test, hem d'obtenir un **observador patró**. Amb l'objectiu de simplificar la tasca, suposarem que tots els membres del grup de pràctiques formen una mostra prou homogènia en edat i sensibilitat per a constituir l'observador patró. Amb aquests observadors obtindrem una base de dades de CSFs normals, amb la qual definirem els límits de normalitat de la prova, per exemple amb l'interval de confiança del 95 % de la població.

**III. Validació del test (1). Comparació amb un dispositiu de referència:** Amb una mostra reduïda de subjectes normals, mesurarem la CSF amb el test que hem construït i amb un dispositiu de referència, i compararem resultats amb el test de Bland-Altman. El dispositiu escollit és un programa de mesura de la CSF mitjançant el mètode MOBS, que podeu descarregar de l'aula virtual (CSF\_rec.rar).

**IV. Validació del test (2). Detecció d'anomalies:** Amb lents i filtres, modifiqueu la sensibilitat al contrast d'un subjecte i creeu un defecte (desenfocament, reducció d'il·luminació retinal, difusió, pèrdua de sensibilitat selectiva en freqüència –per adaptació a una xarxa de freqüència adequada–, escotoma foveal, etc.). Comproveu si el pacient ix fora dels límits de normalitat prèviament determinats.

**V. Avaluació dels resultats i propostes de canvi.** A la vista dels resultats obtinguts, feu una crítica del vostre test, indicant quins canvis caldria introduir per a millorar-lo.

## **Apèndix 2. Guió d'activitats per a l'aula i treball personal de l'estudiant**



## **Mètodes Experimentals de Diagnòstic Clínic. Mètodes Psicofísics.**

### **Elecció d'estímuls per a experiments psicofísics (1). Importància del contingut espacial.**

Farem servir un software de generació d'estímuls en entorn Matlab per a analitzar el contingut de freqüències espacials de diferents estímuls utilitzats habitualment en experiments de psicofísica de la visió, en particular en proves de detecció de patologies visuals.

Es proposen diferents exercicis per a explorar els aspectes més rellevants del tema.

**1. Mida de l'estímul i contingut espectral. ([vegeu tamany.avi](#))**

Genereu rectangles de diferent mida angular i obtingueu el seu espectre de freqüències. ¿Existeix relació entre la mida de l'estímul i alguna característica de l'espectre (l'amplitud, la freqüència de tall, altres característiques...)?

Feu el mateix amb un optotipus (una E, per exemple). Podem trobar tests, com el de sensibilitat al contrast de Pelli-Robson, en què es determina una CSF mesurant el contrast necessari per a reconèixer una lletra d'una certa mida. Es defineix la "freqüència" de la lletra com la inversa de la seua mida angular. ¿Té sentit aquesta definició? Raoneu la vostra resposta.

**2. Orientació de l'estímul i contingut espectral ([vegeu orientacio.avi](#))**

Genereu un rectangle de certa mida i obtingueu l'espectre de freqüències per a diferents orientacions del rectangle. ¿Com afecta l'espectre un gir en la figura?

Feu el mateix amb una sinusoide de freqüència fixa. Podem trobar tests, com el VISTECH, en el qual es mesura el contrast mínim necessari per a reconèixer l'orientació d'una xarxa sinusoïdal. En canviar l'orientació de la xarxa, ¿modifiquem el mecanisme que respon a l'estímul?

**3. Desplaçament de l'estímul i contingut espectral.**

Genereu un cercle de  $0.5^\circ$  de radi i obtingueu el seu espectre per a diferents localitzacions espacials d'aquest (és a dir, canvieu la posició del seu centre). ¿Com canvia l'espectre? Hauríeu de tenir en compte que tan sols mostrem el mòdul de la transformada de Fourier.

**4. Forma de l'estímul i contingut espectral**

Genereu tres figures d'objectes senzills de mida i orientació semblants (per exemple, un cercle, una gaussiana i un quadrat). Descriviu i compareu els seus espectres de freqüència. ¿Afavorim els mateixos mecanismes visuals amb els tres estímuls?

**5. Filtratge d'un objecte**

Sobre un fons acromàtic de  $30 \text{ cd/m}^2$  genereu un cercle de  $10 \text{ cd/m}^2$  i de  $0.5^\circ$  de radi. Analitzeu l'efecte de tres filtres binaris: 1) un filtre passabaix, amb freqüència de tall de 5 cpg, 2) un filtre passabanda, sintonitzat a 5 cpg i amb una

amplada de banda de 2 cpg, 3) un filtre passabanda de la mateixa amplada que l'anterior, però sintonitzat a 10 cpg, 4) un filtre passaalt amb freqüència de tall de 20 cpg.

Repetiu l'exercici anterior substituint el cercle per una gaussiana de mida similar. ¿Què és el que canvia respecte a l'estímul anterior?

Repetiu els exercicis anteriors, canviant el tipus de filtre per un filtre gaussià.

## **Apèndix 3. Disseny de tests de color.**





# DISSENY DE TESTS PER A LA DETECCIÓ D'ALTERACIONS CROMÀTIQUES

## 1. Objectiu

En aquesta pràctica es pretén dissenyar un test per a la detecció d'alteracions cromàtiques de tipus roig-verd i blau-groc, utilitzant un programa per a la representació d'estímuls en pantalla i un filtre acolorit que simularà aquest tipus d'alteracions per a la seua comprovació.

## 2. Materials

Ordinador

Software demo\_estímuls

Test de Làmines d'Ishihara

Filtres acolorits

## 3. Fonament teòric

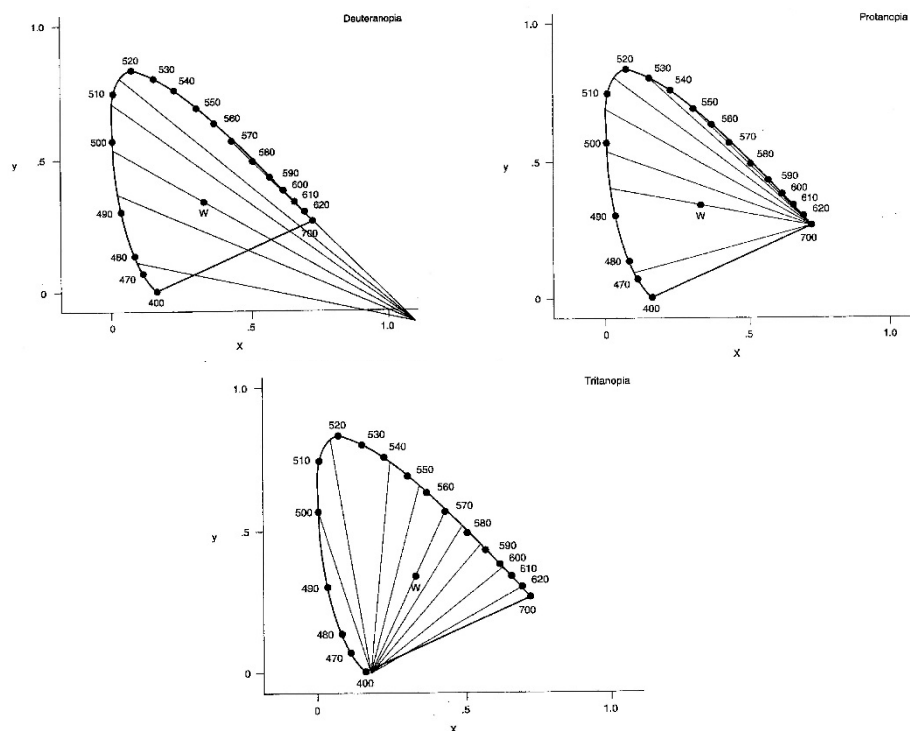
Des que l'estímul visual arriba als nostres ulls fins que s'interpreta en el cervell, el procés visual travessa diferents etapes. En la visió normal diürna són els receptors de la retina denominats cons els que reben l'estímul visual i el converteixen en el senyal que, després d'un processament inicial per les cèl·lules ganglionars de la retina, arriba al cervell.

La major part de la població té tres tipus de receptors amb funcions de resposta a l'estímul (o *sensibilitat espectral*) similars. Els màxims d'aquestes tres sensibilitats espectrals cauen, respectivament, en la zona dels roigs, els verds i els blaus de l'espectre lluminós, per la qual cosa els cons s'anomenen normalment L (de *long-wavelength sensitive*), M (de *middle-wavelength sensitive*) i S (cap sorpresa, *short-wavelength sensitive*). Una petita part de la població (8 % en homes i 0.2 % en dones) presenten un tipus de receptor amb sensibilitat espectral diferent del normal (el màxim

està desplaçat) o que simplement manca o no dóna resposta. Són els observadors anòmals (receptor diferent) i defectius (receptor absent).

Els senyals d'aquests receptors es reuneixen en etapes posteriors, donant lloc a senyals combinats que duen informació roig-verd, blau-groc i clar-fosc. Els observadors amb qualsevol tipus d'anomalia en la visió del color presentaran problemes a l'hora de distingir entre les parelles de colors oponents, és a dir entre roig i verd i entre blau i groc. Segons el tipus de receptor diferent o absent, podem classificar els defectes com a tipus protan (relacionat amb cons L), deutan (cons M) i tritan (cons S). Els dos primers corresponen a confusió roig-verd i el tercer a blau-groc.

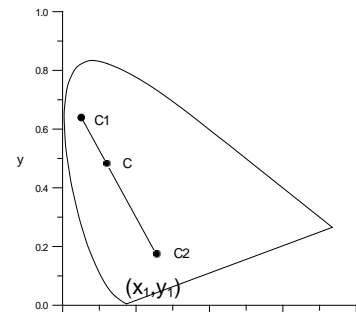
Tots els colors que confonen entre si aquests observadors formen un conjunt de línies rectes en el diagrama cromàtic CIE1931xy que convergeixen a un punt que es denomina *centre de confusió* (diferent per a cada tipus de defecte). És a dir, un observador anòmal o defectiu confon tots els colors situats en una recta, però no confon colors de dues rectes diferents.



**Figura 1:** Línies i centres de confusió de cada tipus d'alteració cromàtica

L'equació general de cadascuna d'aquestes rectes és:

$$\frac{x - x_1}{x_2 - x_1} = \frac{y - y_1}{y_2 - y_1} = \frac{Y/y}{Y_1/y_1} \quad (1)$$



**Figura 2:** *Coordenades del color barreja.*

on  $(x_1, y_1)$  i  $(x_2, y_2)$  són les coordenades dels dos colors que defineixen la recta,  $(x, y)$  les coordenades del color barreja i cadascuna de les  $Y_i$  representa la luminància en  $\text{cd/m}^2$  d'aquests colors (aquesta relació es coneix com a *regla del centre de gravetat*).

En el mercat existeix un ampli conjunt de tests de detecció d'anomalies i deficiències cromàtiques. En la pràctica clínica, els resultats varien d'uns tests a d'altres i no tots són igual de fiables. En aquesta pràctica dissenyarem un d'aquests tests.

#### 4. Mètode experimental

En primer lloc, cadascun dels components del grup de pràctiques comprovarà la seua visió de color amb el test d'Ishihara, anotant en el full de resultats si falla en cap de les làmines.

Els colors han d'obtenir-se matemàticament en coordenades cromàtiques i luminància. La mesura experimental es farà mitjançant el software **demo\_estímuls**, on es dissenyarà un optotipus senzill que conste de figura i fons, amb la finalitat de representar cada parella de colors. L'optotipus no ha de contenir informació que permeti que la detecció tinga lloc per un mecanisme de detecció de contorns; per això és aconsellable introduir soroll acromàtic, és a dir, variacions aleatòries de luminància.

Quan presentem els colors d'una recta de confusió als nostres subjectes reals, un observador amb visió de color normal els veurà diferents, però un observador amb

una alteració cromàtica no serà capaç de distingir-los. Es pot induir una alteració cromàtica amb filtres acolorits (filtre taronja per a simular un defecte tipus tritan i filtre verd per a simular un defecte tipus protan). Com que no es tracta d'una alteració real, pot ser necessari variar les luminàncies dels colors calculats perquè es perceba pràcticament el mateix color. D'aquesta manera simulem el que confondria un subjecte amb el tipus de defecte que estem induint (però cal matisar que els colors no tenen l'aparença real que tindrien per a aquest observador amb alteració cromàtica). Cal anar amb compte de no abaixar massa el nivell de luminància, ja que en aquest cas estaríem fent que detecten només els bastonets i el nostre raonament ja no seria vàlid.

#### 4.1 Disseny de tests

Realitzarem com a exemple un disseny d'un test de detecció d'anomalies cromàtiques tipus Ishihara. Com ja hem dit, els colors del fons i del test de cadascuna de les plaques són triats de manera que pertanyen a la mateixa recta de confusió.

A continuació calcularem, per al cas d'un observador tipus protan i un altre tipus tritan, una parella de colors que pertanyen a la mateixa recta de confusió i el disseny de la qual permetrà la detecció d'anomalies roig-verd i blau-groc (aquestes últimes no es poden detectar amb les Làmines d'Ishihara).

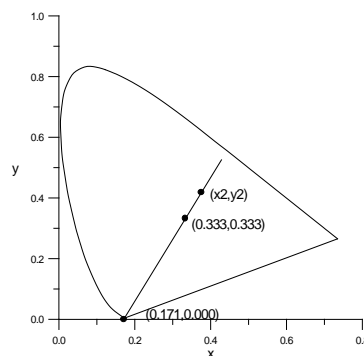


Figura 3

Farem el mateix procés per a ambdós observadors, tenint en compte que les rectes de confusió són diferents per a cadascun d'ells, així com el seu centre de confusió. De totes les rectes de confusió de l'observador tritan en seleccionarem una, la que passa pel punt (0.333, 0.333) que correspon al blanc equienergètic. Tenim

d'aquesta manera dos punts que ens defineixen aquesta recta i podrem calcular-la utilitzant la primera igualtat de l'equació 1. L'observador confondrà tots els colors situats sobre aquesta recta, per tant per a ell tindran la mateixa aparença que el blanc.

De tots aquests colors en seleccionarem ara dos, de manera que en posàriem un com a fons i l'altre com a figura en el nostre disseny de test per a detectar anomalies blau-groc. Però no triarem qualsevol parella, sinó dos colors tals que barrejats donen el blanc. El color resultant de la barreja de dos colors 1 i 2 se situa sobre la recta que els uneix, com podem veure en la figura 3, i la seua posició depèn de la proporció en què es barregen aquests colors. El que pretenem fer és, conegut el color 1 i la barreja, obtenir el color 2. Per a això utilitzarem la segona igualtat de l'equació 1. Col·locant els colors 1 i 2 l'un com a figura i l'altre com a fons, un observador tritanop no seria capaç de distingir fons i figura i un observador tritanòmal tindria moltes dificultats per a distingir-los.

A continuació dissenyarem un test de forma similar, però ara amb la finalitat de detectar alteracions roig-verd, fent ús de les rectes de confusió de l'observador protan. Utilitzem el color 2 de l'observador tritan i construïm la recta de confusió que passa per aquest punt. Una vegada la tenim, seleccionem un altre color 3 d'aquesta recta, de manera que col·locarem els colors 2 i 3 l'un com a figura i l'altre com a fons (seleccioneu  $x_3=0.5$  per a aquest càlcul). Un observador protanop no seria capaç de distingir fons i figura i un observador protanòmal tindria moltes dificultats per a distingir-los.

## 5. Resultats

1) Obtingueu la recta de confusió que passa pel punt de confusió dels tritanops ( $C_1$ ) i el blanc equienergètic ( $C_2$ ), ambdós amb  $Y=70$  cd/m<sup>2</sup>.

$$C_1 : (x_1=0.171, y_1=0.000) Y_1=70 \text{ cd/m}^2$$

$$C_2 : (x_2=0.333, y_2=0.333) Y_2=70 \text{ cd/m}^2$$

**2)** Obtingueu dos punts de la recta de l'apartat 1 tals que la seua barreja reproduísca el blanc equienergètic (feu que un d'aquests colors siga el de coordenada cromàtica  $x_1=0.300$ ). Representeu-los mitjançant demo\_estimuls i utilitzeu els filtres taronja per a simular una alteració tipus tritan. Descriviu el que veieu. Barreja: ( $x=0.333$ ,  $y=0.333$ ),  $Y=70$  cd/m<sup>2</sup>.

$$C_1 : (x_1=0.300, y_1=?) \quad Y_1=70 \text{ cd/m}^2$$

$$C_2 : (x_2=?, y_2=?)$$

**3)** Obtingueu la recta de confusió que passa pel punt de confusió del protanop ( $0.747, 0.253$ ) i el color 2 ( $C_2$ ) de l'apartat anterior. ¿Quin altre color ( $C_3$ ) caldria seleccionar perquè, de nou, la barreja de  $C_2$  i  $C_3$  fos el blanc equienergètic?

$$C_1 : (x_1=0.747, y_1=0.253) \quad Y_1=70 \text{ cd/m}^2$$

$$C_3 : (x_3=?, y_3=?)$$

**4)** Seleccioneu un nou color 4 d'aquesta recta ( $C_4$ ), de manera que la seua coordenada cromàtica  $x$  valga  $0.5$ . Representeu els colors i utilitzeu el filtre verd per a simular una alteració tipus protan. Descriviu el que veieu.

$$C_4 : (x_4=0.5, y_4=?)$$

## **Apèndix 4. Comunicació a l'ICERI 2013.**





# TOOLS FOR GENERATING CUSTOMIZED VISUAL STIMULI IN VISUAL PERCEPTION LABORATORIES USING COMPUTER CONTROLLED MONITORS

M<sup>a</sup> José Luque<sup>1,3</sup>, Dolores de Fez<sup>2,3</sup>, M<sup>a</sup> Carmen García-Domene<sup>1,3</sup>, Vicenta Moncho<sup>2,3</sup>

<sup>1</sup> *Universitat de València, Dep. d'Òptica (SPAIN)*

<sup>2</sup> *Universidad de Alicante, Dep. de Óptica, Farmacología y Anatomía (SPAIN)*

<sup>3</sup> *Grupo de Óptica y Percepción Visual (SPAIN)*

## Abstract

Thanks to the new image technologies and teaching methodologies, both teachers and students are now able to perform activities that a few years ago were outside their reach. Students have at their disposal computers that facilitate their learning process, allowing them to put into practice, even at home, the knowledge they have been acquiring. Thus, the space to perform laboratory experiments is no longer restricted to the University lab facilities, since, with the proper software, students can build their own laboratories. In this paper, we present a software application for Matlab that allows the user to design a great variety of experiments in the field of visual perception.

Keywords: visual perception laboratory, visual stimuli, software, virtual laboratory.

## 1 INTRODUCTION

When discussing subjects related to vision science, it is often necessary to use particular visual stimuli to show a certain visual effect or to perform an experiment. Often, neither teachers nor students possess the necessary computing programming knowledge and skills to generate these stimuli on a computer-controlled visualization device, which is the more widely used platform for this kind of experiments.

The students of the Degree in Optics and Optometry and of the Master of Advanced Optometry and Vision Sciences at the University of Valencia experience this problem: they must understand, design and perform vision experiments and tests with visual stimuli that favour the response of a given visual mechanism thanks to precisely defined chromatic characteristics and frequency content. The representation spaces where these characteristics are defined, though theoretically known to the student, are complex and difficult to understand. Being able to control and manipulate easily these stimuli, greatly facilitates the learning process. In fact, in the subject Colourimetry and Colour Vision, in the extinct studies of Optic and Optometry, we introduced a methodology consisting in problem-solving sessions using a Matlab library, COLOURLAB, developed by our research team and allowing the user to describe, generate and operate with chromatic stimuli in a relatively straightforward way, although some knowledge of the Matlab environment was required. Besides making the understanding of colour vision concepts simpler for the student, another subject, Non Invasive Methods for Clinical Diagnosis, took advantage of this environment to train the students to design and implement psychophysical tests for diagnosing alterations of the visual system. If we trust the final results of each course and the interest shown for the students, many of whom have continued work along this line, this procedure is really useful.

The elimination of the subject "Colourimetry" in the new study plan has forced us to change our methodology, both to keep its advantages and to reduce the need of training the student to use the software. We have developed a Graphic User Interface (GUIDE) for Matlab, which allows the characterization, generation and processing of simple visual stimuli, and does not require any programming skills, only some basic knowledge of vision science and information processing, to determine the characteristics of the stimuli. This tool has already been used in two subjects of the new study plan at the University of Valencia, both in laboratory sessions and as a study tool for the student.

## 2 SOFTWARE DESCRIPTION

The GUIDE at present only functions in Matlab, and having access to this program is the only difficulty for the user. The scenes that can be generated with the software consist of a stimulus on a background, and certain characteristics of both can be either freely chosen or selected from a menu.

The user must decide the best domain to define the stimulus (spatial or frequency domain), the dimensions of the scene and its sampling rate (Fig. 1).

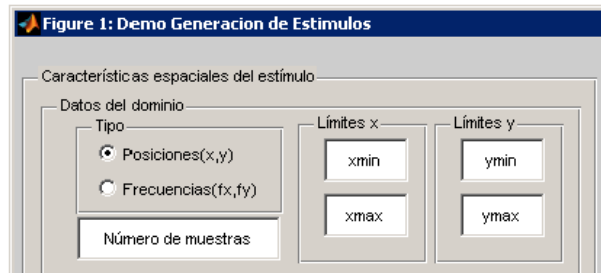


Figure 1: Defining the stimulus spatial characteristics. Top-Left: dominion (position or frequency). Bottom-Left: sampling rate. Right: dimensions of the scene.

The shape of the stimulus may be chosen among some basic shapes, such as circle, rectangle... etc, or basic significant functions for vision experiments, such as gratings and gaussians, optotypes or user-defined images. The spatial parameters defining the stimulus are always defined in visual angle units. Rotation angles are always referred to the canonical reference system in the space and must be specified in degrees (Fig. 2).

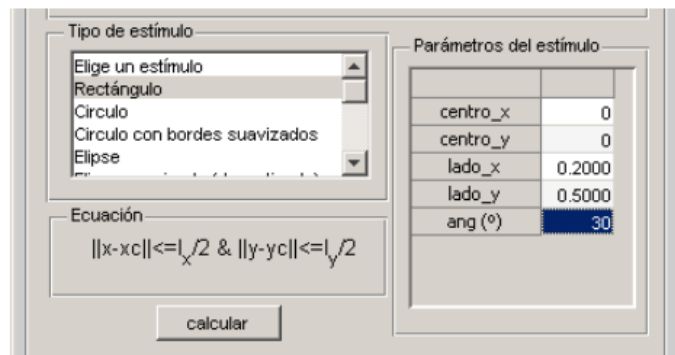


Figure 2: Top-Left, list of possible stimuli. Bottom-Left, mathematical equation defining the selected stimulus. Right: spatial parameters of the stimulus.

At this stage, the spatial information of the stimulus or signal may be visualized, both in the position and in the frequency domains, that is  $s(x,y)$  and  $S(fx,fy)$ , respectively (Fig. 3).

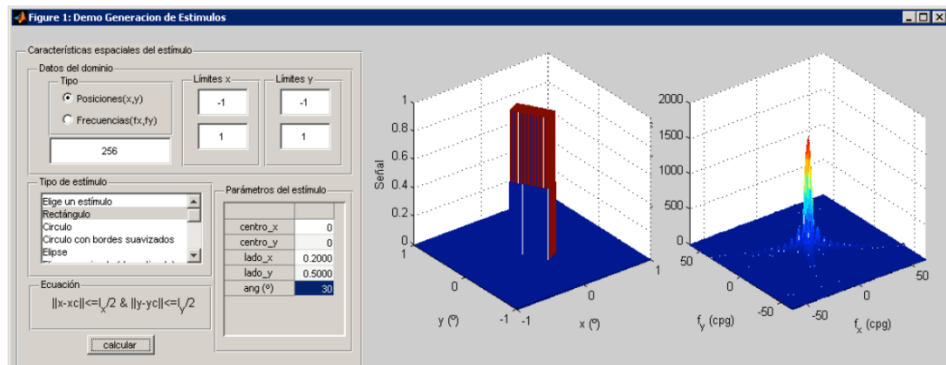


Figure 3: Spatial information of the stimulus or signal, both in the position (left) and in the frequency domains (right).

Clicking on these diagrams, auxiliary editable figures are opened. These figures can be saved, rotated, magnified and edited with the Matlab figure tools. For the Fourier transform, projections on different planes are also shown (Fig. 4).

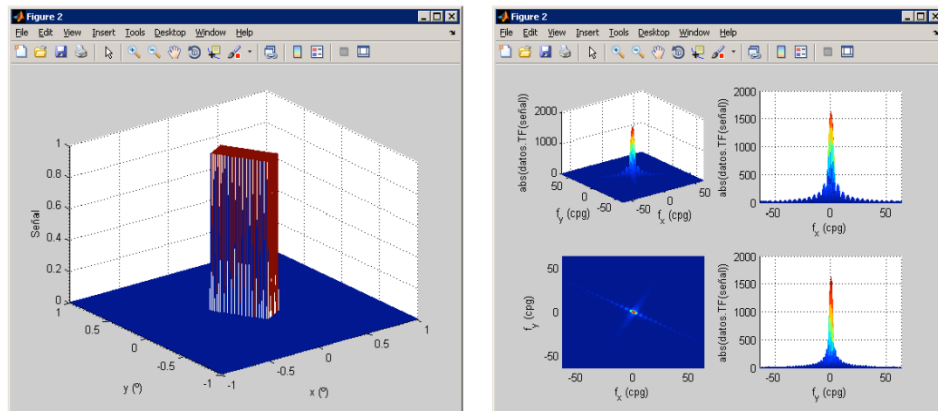


Figure 4: Left, spatial information in editable figure. Right, projections of the signal's Fourier Transform on different planes.

The chromatic characteristics of the scene can be defined and represented in several usual colourimetric spaces, either graphically or numerically (Fig. 5). In both cases, the colour of the background and of the signal must be specified in a 3D-space. Accurate colour reproduction of the stimulus can be ensured if the user has calibrated the monitor. If this is not possible, approximate colour reproduction is obtained with colourimetric data from a standard monitor. The user may choose either of these options.

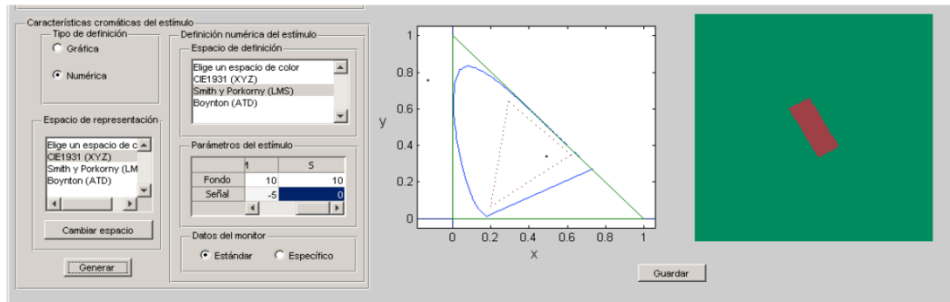


Figure 5: Chromatic characteristics of the stimulus. Example of graphical representation of background and signal in a chromaticity diagram (left), and appearance of the stimulus (right). In the example, the background colour chosen by the user is not real. This can be seen in the colour diagram and the error can subsequently be corrected.

Once all the characteristics of the scene are correctly defined, the software generates an image (Fig. 5, right) with the stimulus and additional information in the shape of colour diagrams (Fig. 5, left), and spatial information both in the spatial and in the Fourier domain, which can be saved in any of the formats allowed by Matlab. Not all stimuli can be generated: in Fig. 5, for instance, the background colour is outside the range of possible colours. The software informs the user when this problem happens and approximates the desired colour by a generable one.

Some basic processing may also be performed on the images: the user may explore the effect of adding different kinds of noise (Fig. 6) and of filtering the frequency content of the images (Fig. 7), both usual and useful in processes for vision science. Clicking with the right mouse button on the stimulus, auxiliary menus are opened, to define different noise signals and spatial filters.

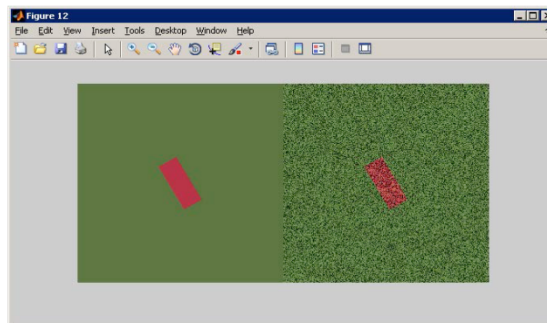


Figure 6: Example of simple image processing: added gaussian noise.

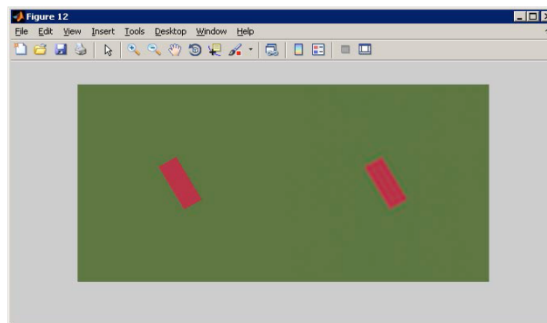


Figure 7: Example of simple image processing: low-pass filter.

### 3 APPLICATION: DESIGNING A TEST FOR DETECTION OF COLOUR VISION DEFECTS

Subjects with congenital vision defects are relatively frequent (up to 8% in the male population) and the students of the Degree in Optics and Optometry must know the kind of problems they suffer and the principles underlying the design of tests that detect, classify and grade this kind of visual defect. A useful procedure to facilitate the learning process is to ask the students to design a simple detection test, similar to the widely used Ishihara colour plates [1], [2] (Fig. 8).

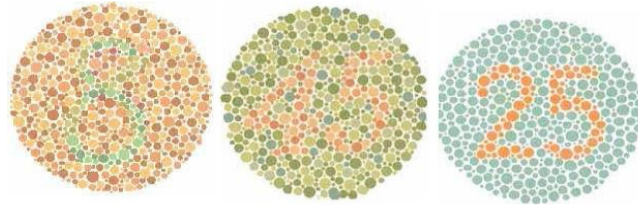


Figure 8: Example of Ishihara plates for detection of red-green colour defects [3].

This test consists of a number of plates, with a test object (a number or another figure) on a background. The colours of both are chosen in such a way that a subject with a particular alteration in colour vision cannot distinguish.

The students should begin by searching information –or remembering– on the visual system of the patients they want to detect. Let us consider, for example, the case of a protanope [1], [2]. These subjects possess only two types of cones (M and S cones), instead of the normal three (L, M and S cones). Therefore, if test object and background differ just on the responses of the missing cone, the subject would be unable to detect the object. However, if the test size is large enough (more than  $1^\circ$ ), their capability for distinguishing between colours improves, and could even pass for normal.

With the structure of the software, we must introduce the information about size first. The task that the patient must perform is to detect an object against a background. The examiner must be sure that the patient does indeed see the object. A procedure is to ask the patient to “name” the object (a letter, a number...) or to describe certain characteristic of the object (for instance, the position of the gap in a C). This kind of complex object is best described in the position space (Fig. 9). Once the student has made this decision, the size of the plate and its spatial resolution must be decided. Provided that the whole image does not occupy much more than  $1^\circ$ , any choice would be possible. In the example, the plate covers  $2^\circ \times 2^\circ$  and the object (a C) has a diameter of  $0.9^\circ$ . The student must make now another important decision: the rest of the dimensions of the object (thickness and gap size) must be chosen with care, to ensure that a patient with normal colour vision does not fail to see the object because it is too thin or the gap too small to be resolved by his/her visual system. Information about normal visual acuity must be used at this point.

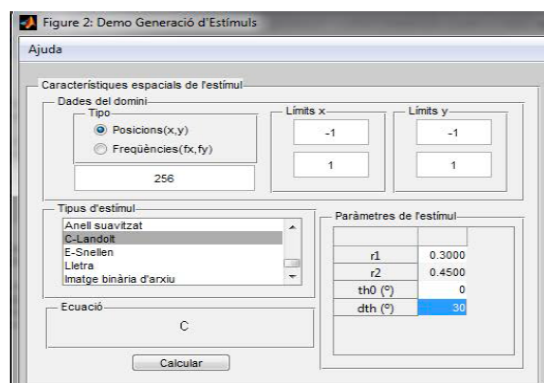


Figure 9: Example of stimulus generation. Parameters for a Landolt C.

Once the spatial profile of the stimulus has been defined, the colours of test and background must be adequately chosen. Our patient lacks the normal L cone. That means that background and test must differ only in the response that they elicit in this cone type. The choice of two colours with these characteristics can be made more or less difficult, depending on the colour space chosen to define the stimuli. For instance, it is known that in the CIE1931 colour space the pairs of colours that verify this property lie along a line, passing for a point called the "co-punctual point" of the protanope [1], [2] (Fig. 10).

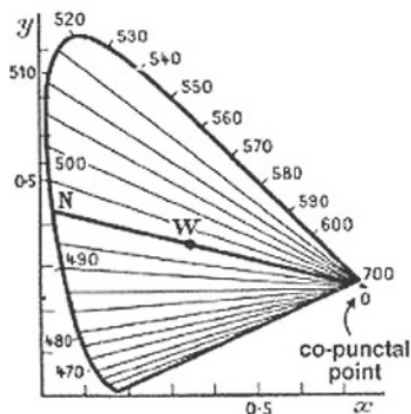


Figure 10: Confusion lines and co-punctual point of a protanope [4].

If the student choses to work in this space, he/she must select one of the infinite lines verifying this property, two colours on this line, and a luminance for both. The process could be simplified if the student chose to work in a colour space that gives directly the responses of the three cone types (the cone space). In this case, he/she must only choose two stimuli that differ only in the L response (Fig. 11).

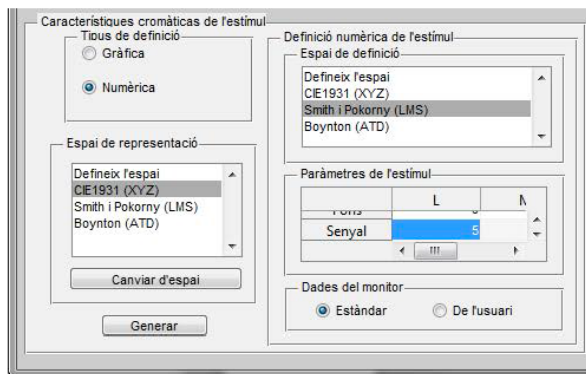


Figure 11: Choice of the parameters for the color test. The most convenient space has been used (cone-space). The background and the test must differ only in the L-signal.

If the calibration data of the monitor is specified, the plate can be generated and checked for design errors. For instance, we must ensure that all the colours can be generated by our device, and that the stimulus size is adequate (Fig.12).

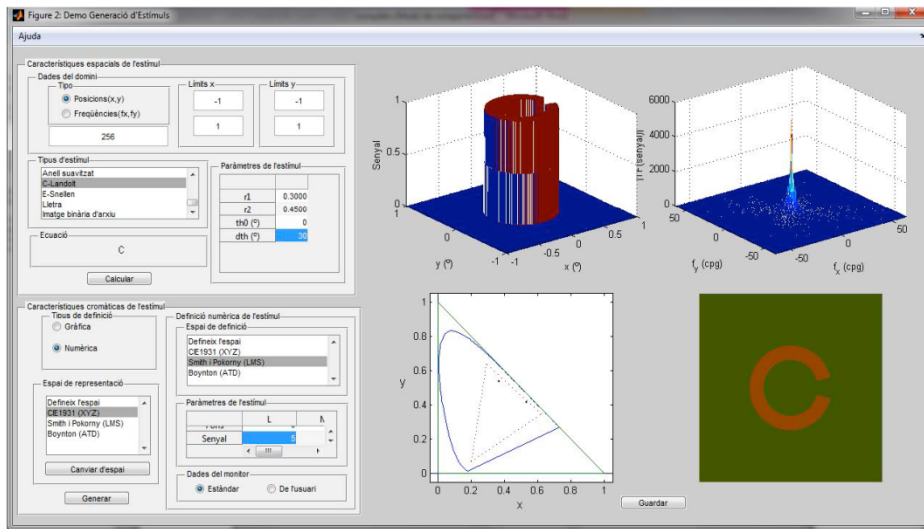


Figure 12: The chosen stimulus represented in the position and frequency domains and in the color space. The stimulus can be seen in the bottom-left figure.

The student must solve still a problem related with the fact that the mathematical space used to describe cone responses correspond to an ideal or average observer. Individual variability might create a luminance response, that would help a colour-defective observer to detect the stimulus. To ensure that only colour information is used to detect the stimulus, the strategy is to add a noisy luminance signal (Fig. 13).

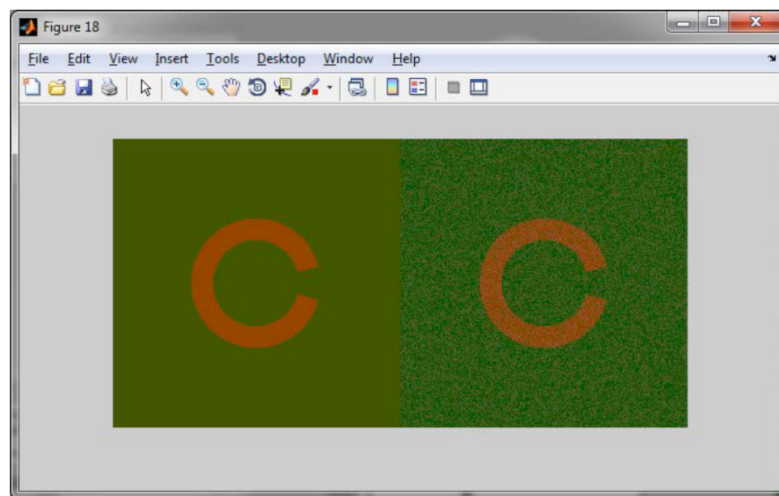


Figure 13: The original stimulus (left) and the stimulus with added achromatic gaussian noise (right).

## REFERENCES

- [1] Jennifer Birch, *Diagnosis of Defective Colour Vision*, 2nd Ed. Boston: Butterworth-Heinemann, 2001, Chap. 4
- [2] Vision and visual dysfunction, Vol. 7, Inherited and acquired colour vision deficiencies : fundamental aspects and clinical studies ; edited by David H. Foster, Houndmills : Macmillan Press, 1991, Chap 2 and 3.
- [3] <http://ucalgary.ca/pip369/mod3/deficiencies/testing>
- [4] <http://webvision.med.utah.edu/book/part-viii-gabac-receptors/colour-perception/>

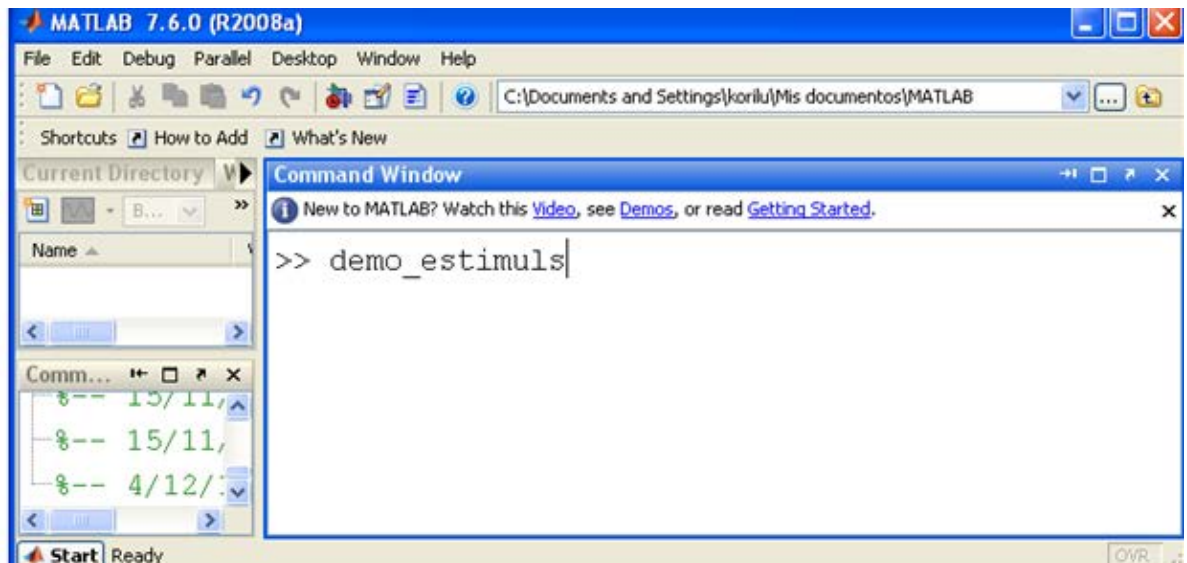


## **Apèndix 5. Manual del programa**



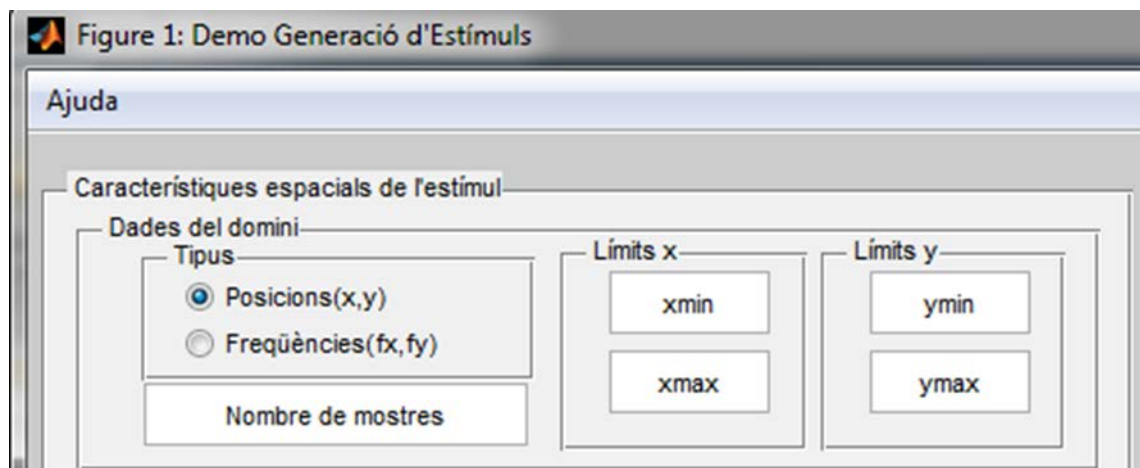
## GENERACIÓ I CONTROL D'ESTÍMULS

A la línia d'ordres de Matlab, escriviu **demo\_estimuls** i premeu 'Retorn'.



### Definició del domini

El senyal es pot definir en l'espai de posicions (en unitats d'angle visual) o en el de freqüències (mesurades en cicles/grau o cpg). Una vegada escollit l'espai de definició de l'estímul, hem d'indicar els valors dels límits inferior i superior del domini en les direccions cardinals de l'espai, i també el nombre de mostres (elements de matriu o píxels) que tindrà la imatge.

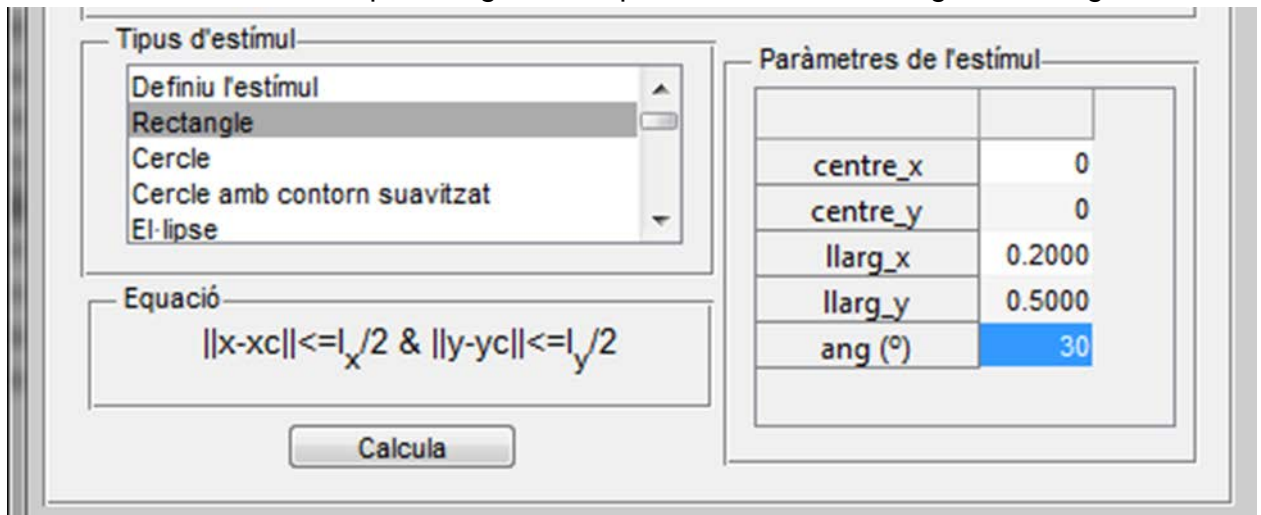


### Definició del senyal

Els estímuls es definiran com un canvi o senyal respecte a un estímul de fons. El senyal es pot definir matemàticament, mitjançant una equació (un cercle, una

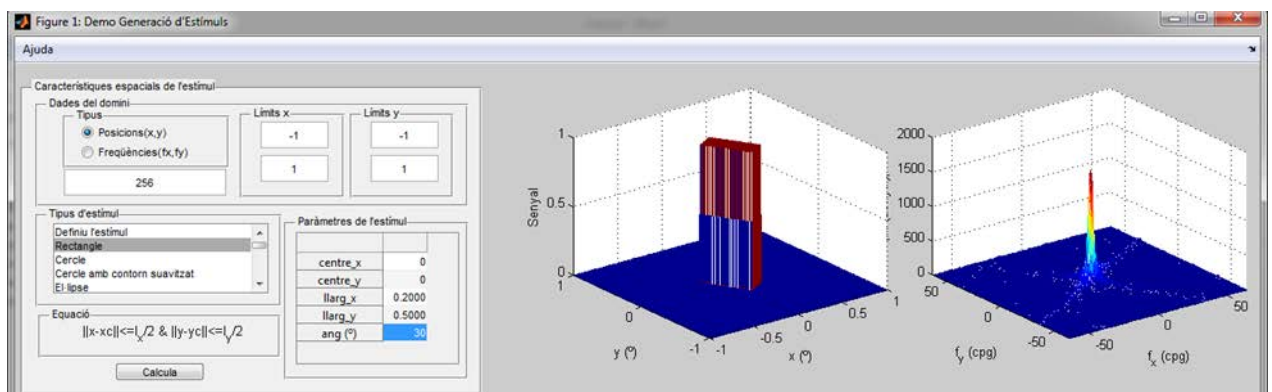
gaussiana, un rectangle...), o consistir en un objecte definit pel mateix usuari, en forma d'imatge binària, com per exemple un optotipus.

Una vegada escollit el perfil espacial de la imatge en el desplegable **Tipus d'estímul**, el requadre **Paràmetres de l'estímul** esdevé actiu i permet la introducció dels paràmetres espacials que el defineixen. Totes les distàncies i coordenades de posició s'han d'especificar en graus d'angle visual. Quan la figura es pot girar respecte al sistema de referència canònic de l'espai, l'angle corresponent es mesura en graus sexagesimals.

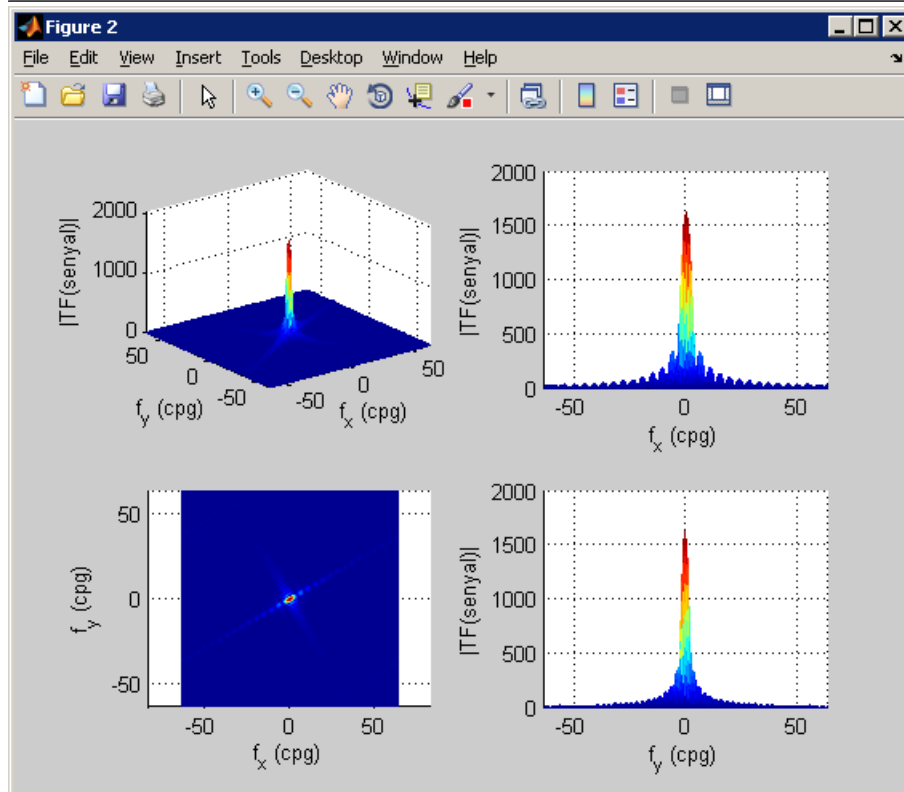
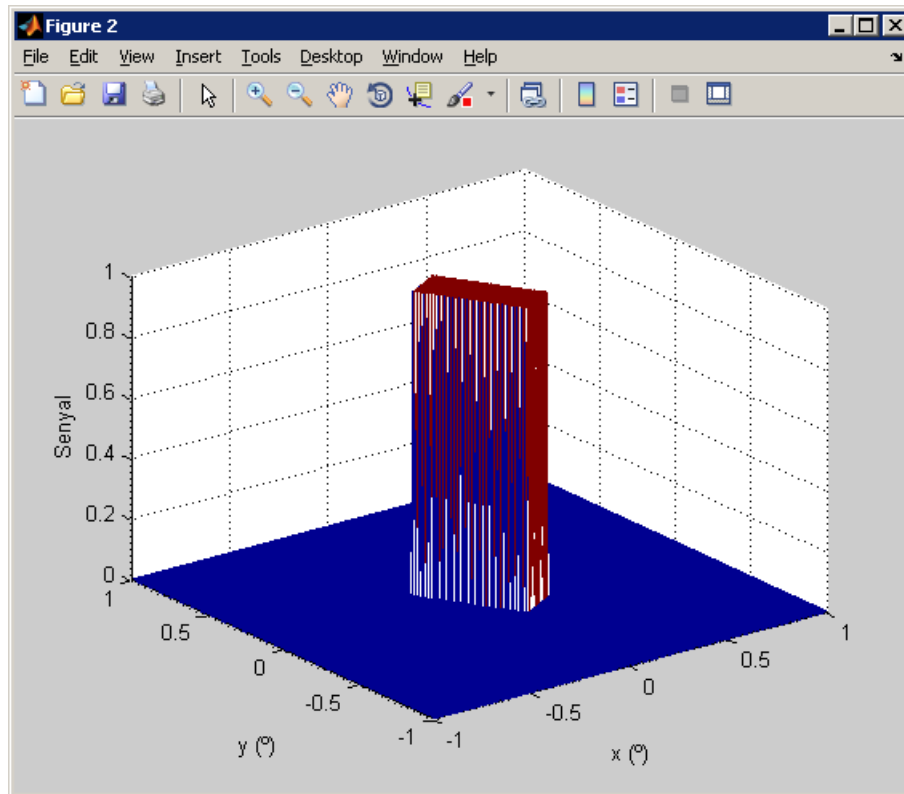


## Visualització del senyal en els espais de posició i freqüència

Una vegada definit el perfil espacial de l'estímul, prement el botó **Calcula** es construirà la funció  $s(x,y)$  que descriu el valor del senyal en cada punt  $(x,y)$  del domini, i de la qual es calcularà la transformada de Fourier,  $S(f_x, f_y)$ . A la finestra principal del programa es representen gràficament ambdues funcions.



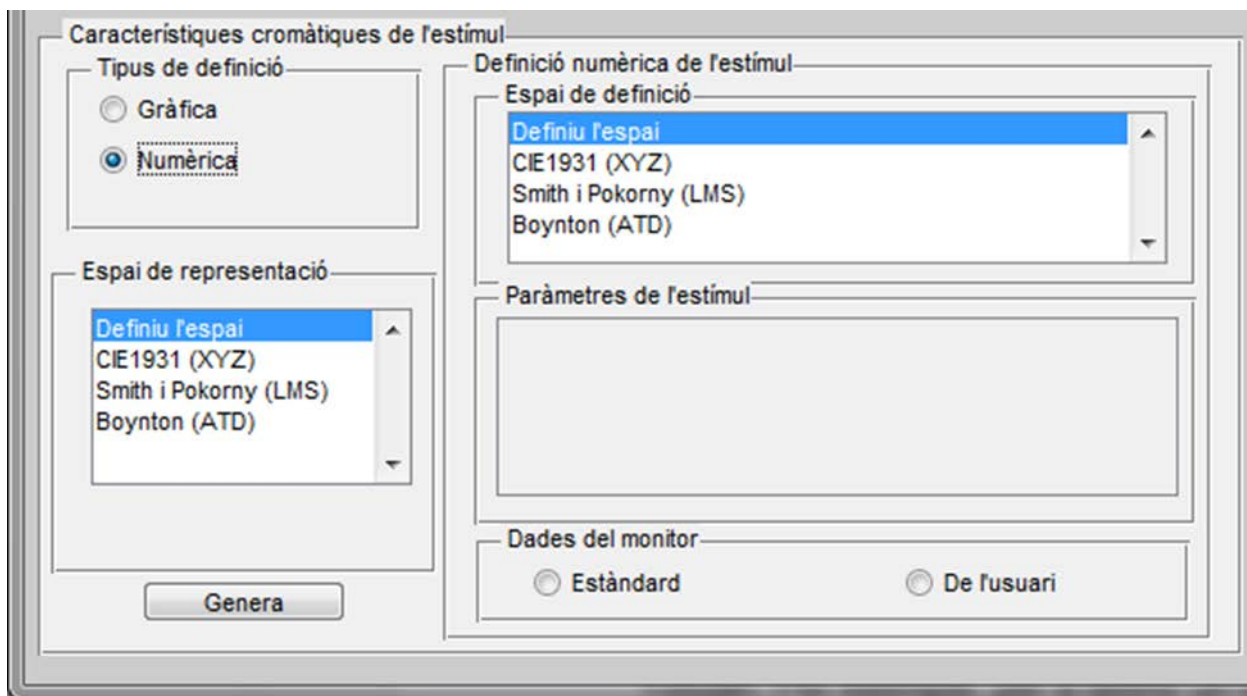
Els diagrames generats són actius. Si les seleccionem amb el ratolí, s'obriran finestres auxiliars, editables, on es representen  $s(x,y)$  i  $S(f_x, f_y)$ . Aquestes figures es poden desar, girar, ampliar i editar amb les eines gràfiques de Matlab. A més a més, en el cas de la transformada de Fourier s'afegeixen diferents talls de la funció.



## Definició del senyal cromàtic

Estem introduint un canvi en l'estímul inicial o fons. Per a definir el color de l'estímul calen tres variables, dintre d'un espai tridimensional. Afegir el senyal suposa canviar l'estímul de fons en una direcció donada d'aquest espai. La primera cosa que hem de fer és escollir un espai de representació del color, i dintre d'aquest espai, definir el fons

i el senyal. Malgrat que són possibles altres opcions, el programa treballa amb espais de representació vectorials (lineals). Els estímuls es poden definir **Gràficament** o **Numèricament**. En el primer cas, es presenta el diagrama cromàtic associat a l'espai de representació escollit, i els colors se seleccionen prement amb el ratolí. En el segon cas, un requadre de diàleg permet introduir directament els valors numèrics en format taula.



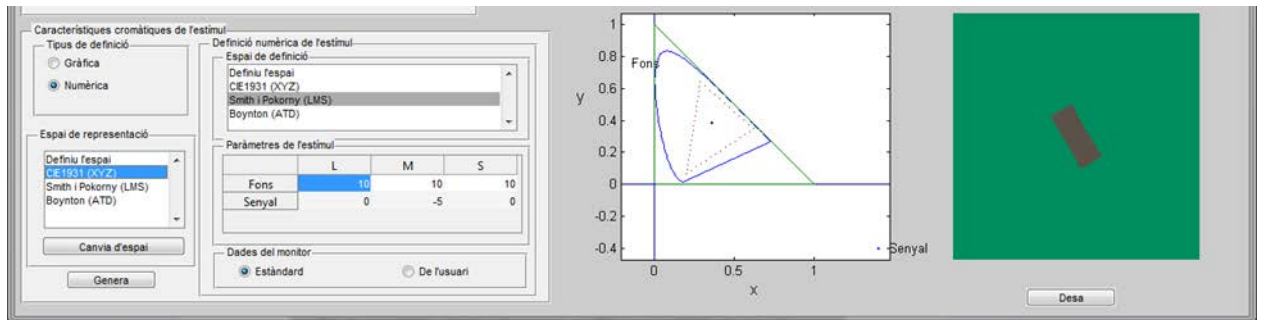
L'espai on és més fàcil definir l'estímul no és necessàriament el més familiar per a l'usuari. Per exemple, per a definir un test per la detecció de dicromatòpsies, és còmode treballar a l'espai de cons, ja que el paràmetre rellevant són els quocients L/M o M/S o L/S. L'espai de cons és, però, menys familiar per a molts usuaris que, per exemple, l'espai CIEXYZ. Per a facilitar la tasca d'anàlisi dels resultats, el programa distingeix entre l'espai on definirem el senyal (**Espai de definició o generació**) i l'espai en què representarem els colors generats (**Espai de representació**). Si dintre de la mateixa sessió de treball es modifica l'elecció de l'espai de representació, s'ha de prémer el botó **Canvia d'espai** per a actualitzar un conjunt de variables auxiliars (que inclouen, en particular, la informació del monitor). Pel que fa a l'espai de definició, tan bon punt se selecciona un espai, el quadre **Paràmetres de l'estímul** esdevé editable i permet introduir els descriptors del fons i el senyal. Cal tenir en compte que **el senyal s'afegeix al fons!**

Per a assegurar una reproducció del color acurada, l'usuari ha de treballar amb un monitor ben caracteritzat colorimètricament. Si això no és possible, es pot aproximar el comportament del monitor amb les dades d'un monitor estàndard. És requisit que la descripció del monitor s'adapte al format de la llibreria COLORLAB. Si en el requadre

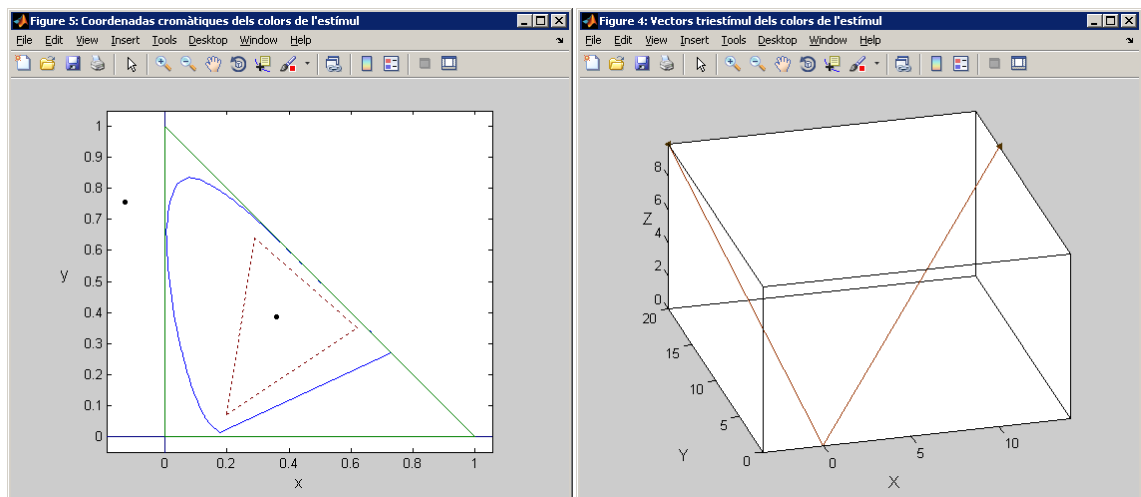
**Dades del monitor** se selecciona l'opció **Estàndard**, es carregarà el perfil del monitor típic, std\_crt, de Colorlab. Si l'usuari ha calibrat el seu monitor amb les funcions de Colorlab, pot carregar el fitxer corresponent amb l'opció **Específic**.

## Generació de l'estímul

Una vegada definits tots els paràmetres de l'estímul, el botó **Genera** construirà l'estímul "fons més senyal" en l'espai desitjat, transformarà els valors triestímuls a nivells digitals i generarà un parell de figures.



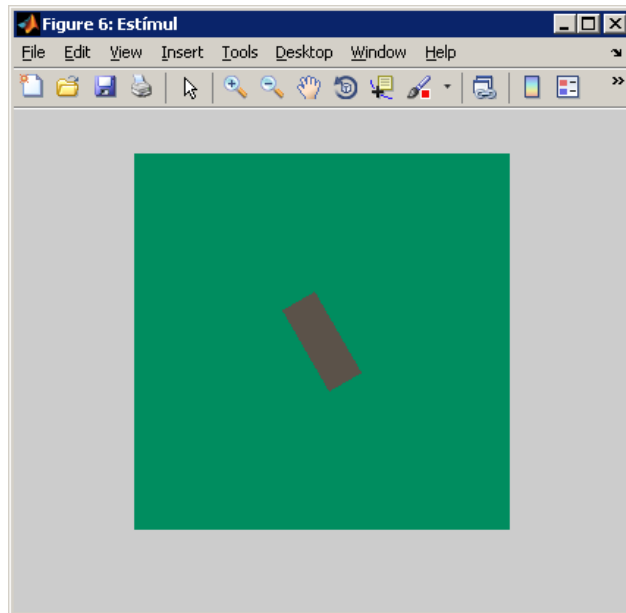
La primera figura mostra els colors de la paleta en l'espai de representació escollit. El triangle roig és definit per la cromaticitat dels primaris del monitor en aquest espai, i per això inclou la gamma de colors generables pel monitor, cosa que permet avaluar si els colors desitjats són generables. En la segona figura tindrem l'estímul. Les dues figures són actives i prement-les amb el botó esquerre del ratolí, n'obtidrem una nova representació en figures independents i editables, amb informació addicional.



Si cliquem en el diagrama cromàtic, podem veure una representació de la paleta en el diagrama cromàtic i en l'espai triestímul. La representació en el diagrama cromàtic inclou el triangle dels colors generables pel monitor, amb la qual cosa podem comprovar si els colors desitjats són o no reproduïbles per cromaticitat. En l'exemple de la figura, la cromaticitat de l'estímul de fons està fins i tot fora fins del diagrama

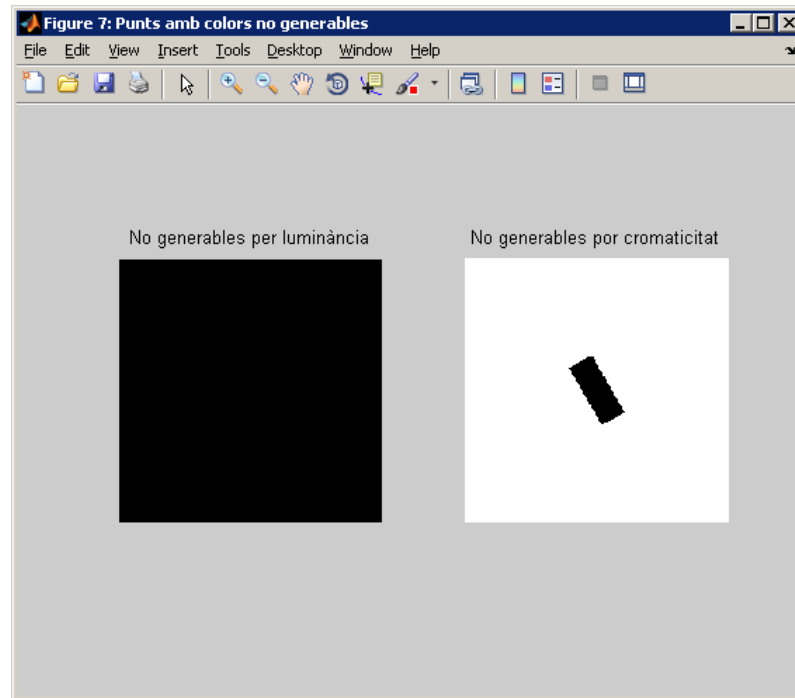
cromàtic (no es correspon amb cap color real), i el que fa el programa en aquest cas és substituir el color desitjat pel color generable de cromaticitat més semblant. L'usuari ha comès un error inacceptable i hauria de triar un altre color de fons.

Si cliquem en la imatge de l'estímul, s'obri un conjunt de cinc figures. La primera és l'escena, generada amb el criteri que un element de matriu ocupa un píxel.

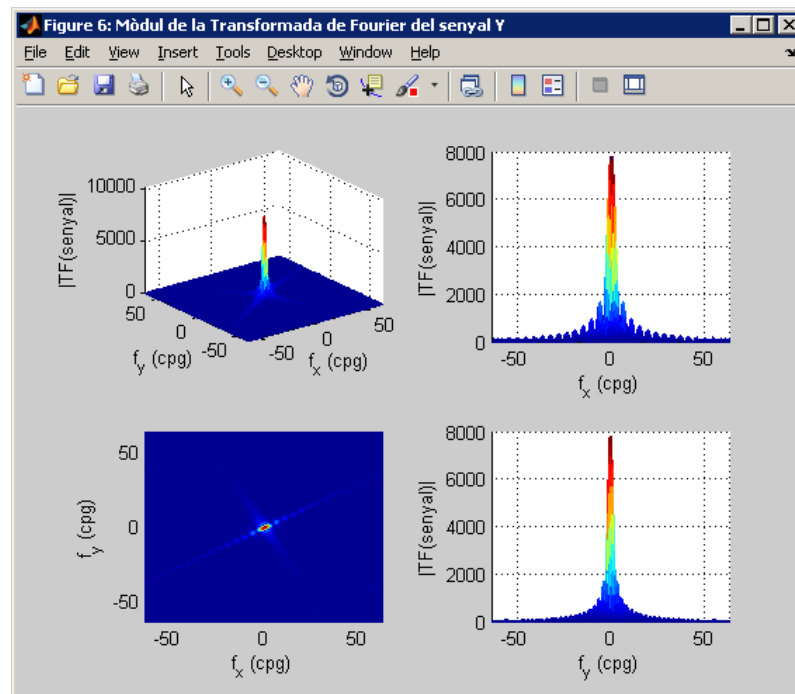


La segona figura conté informació sobre la reproductibilitat dels colors. Tenim dues limitacions possibles: que la cromaticitat del color es trobe fora del triangle de primaris del monitor i que la luminància desitjada siga major que la que pot generar el monitor. Dues representacions en blanc i negre de l'escena ens avisen dels casos en què el color és generable (negre) o no (blanc). La representació de la dreta informa dels problemes relacionats amb la cromaticitat de les mostres i la de l'esquerra dels problemes relacionats amb la luminància.





Les tres imatges addicionals mostren la transformada de Fourier de l'escena a les tres direccions de l'espai triestímul de representació. En el cas de l'exemple, tindríem les transformades de Fourier de les components X, Y i Z de l'escena, de les quals mostrem la component Y.



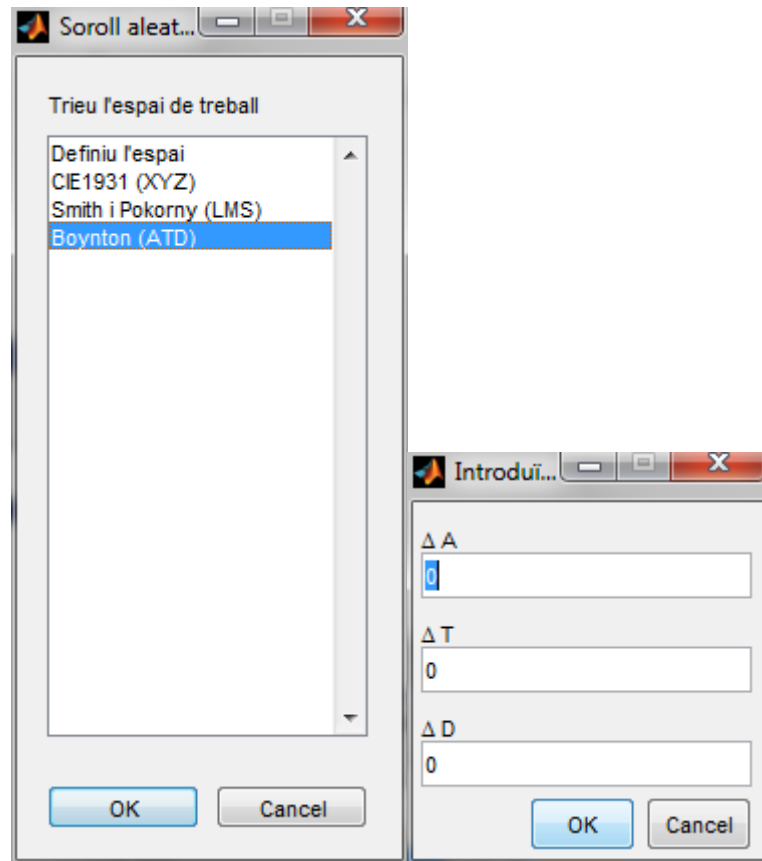
Aquestes figures es poden desar o exportar amb la barra d'eines de cada figura. Es pot desar un arxiu \*.mat amb les dades de la imatge (imatge en color verdader en nivells digitals i paleta de valors triestímul) fent servir el botó **Desa**.

## Manipulació de l'estímul: soroll i filtratge

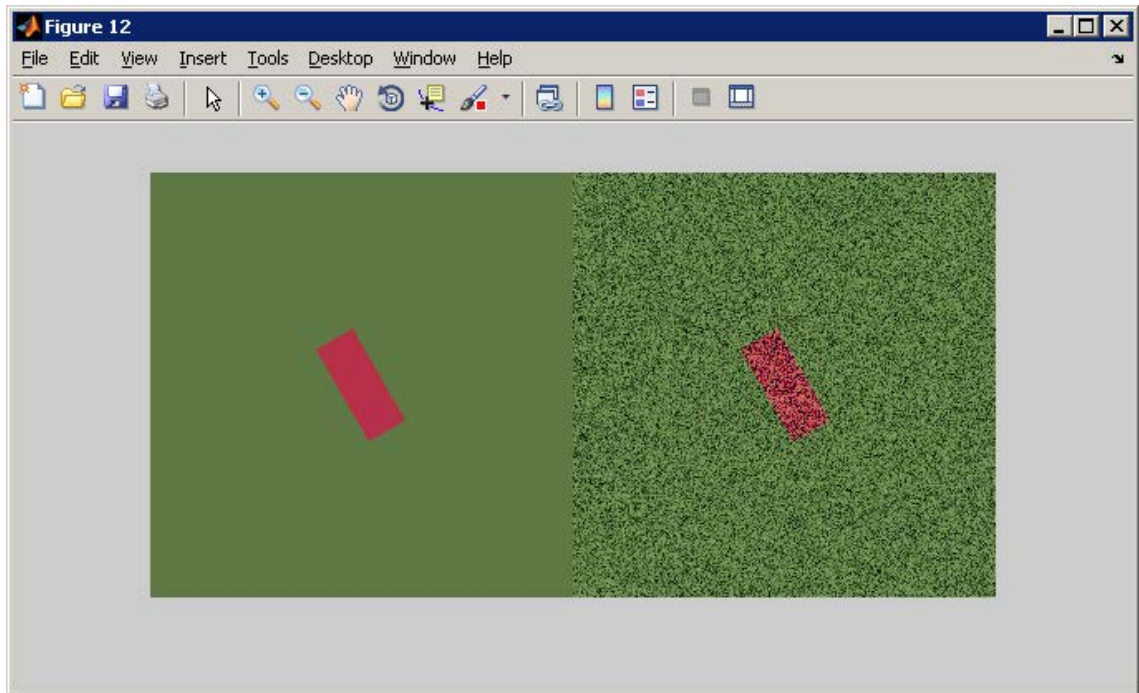
El programa permet un conjunt reduït de manipulacions de l'espectre i el color de la imatge amb utilitat en experiments de visió. Fent clic amb el botó dret del ratolí en l'escena, s'obrirà el requadre de la figura, que ens permet afegir soroll, filtrar l'espectre de freqüències de la imatge o tornar-la al seu estat original. Les operacions **Soroll additiu**, **Soroll multiplicatiu** i **Filtratge** s'apliquen a l'última imatge generada. Tant en una aplicació com en l'altra, el resultat final es mostra en una figura independent, en la qual es compara l'escena original amb l'escena tractada. Per a recuperar la imatge inicial, disposem de l'opció **Restaura**. Una vegada se selecciona l'operació desitjada, el botó **OK** mostrarà el següent quadre de diàleg.



Amb l'operació **Soroll additiu** podem sumar soroll uniforme, l'amplitud del qual es pot definir en cada direcció d'un nou espai de treball, que podem escollir a continuació. La funció **Soroll multiplicatiu** funciona de manera anàloga.

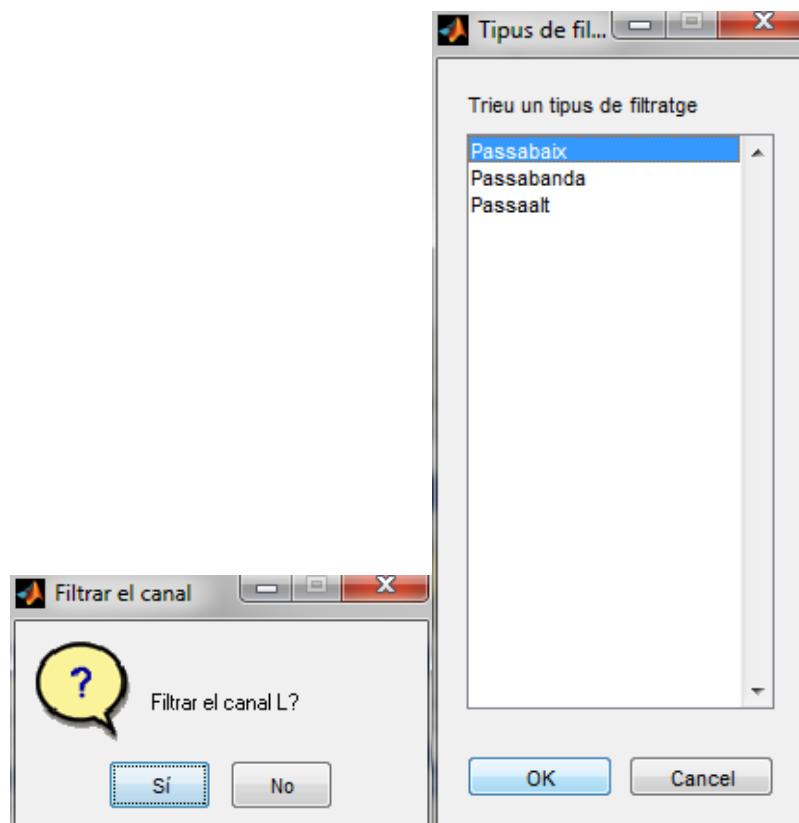
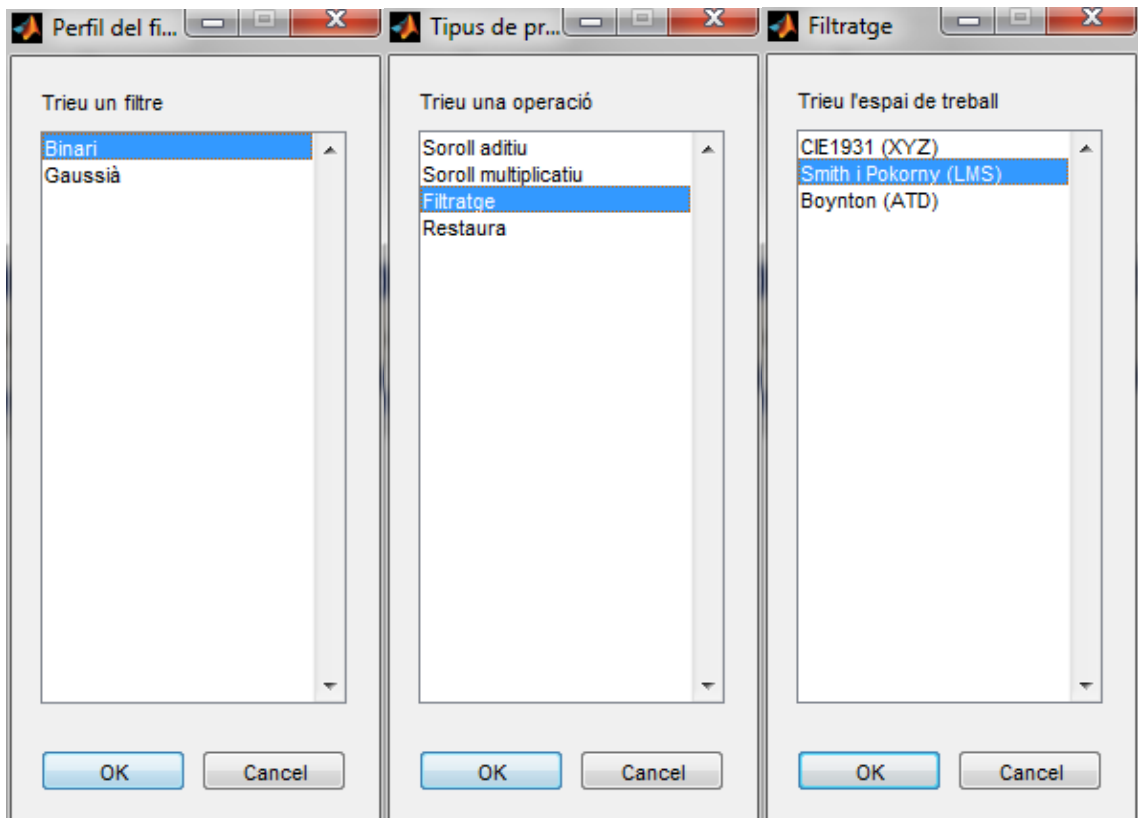


En l'exemple de la figura, sobre un fons definit en l'espai de cons (valors triestímul  $[18,10,10]$ , que són generables pel dispositiu) hem afegit un senyal en la direcció M ( $[0 -5 0]$ ), per a construir un test de detecció de deuteranomalies. Per a minimitzar la influència d'un possible senyal acromàtic residual, hem introduït soroll acromàtic (amb l'amplitud màxima i la direcció del vector  $[18 10 10]$ , i, per tant, en la mateixa direcció que el fons).



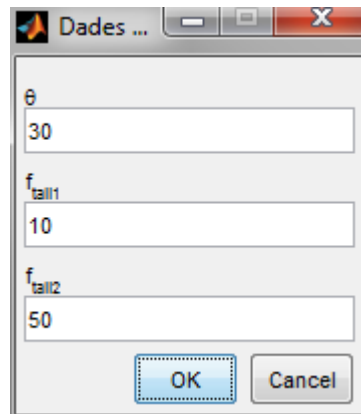
Un dels objectius d'aquest programa és mostrar que alguns espais s'adapten millor a la resolució d'un problema concret. Per exemple, si volem construir un test per a la detecció d'anomalies cromàtiques, a més de modular el fons en la direcció adequada (per exemple, mantenint S/M constant, si volem detectar un protanop), hauríem de minimitzar la probabilitat d'intrusió del mecanisme acromàtic. Això es pot aconseguir afegint soroll que afecte tan sols aquest mecanisme. Aquesta operació es faria més fàcilment en un espai A, T, D, que separa el senyal acromàtic dels dos cromàtics, que en un espai de cons.

La funció **Filtratge** permet definir filtres de diferent amplada de banda, sintonitzats a diferents freqüències, i amb perfil binari o gaussià. De nou, és possible triar un altre espai de treball i en cada direcció de l'espai triat es pot definir un filtre diferent o no aplicar-ne cap.

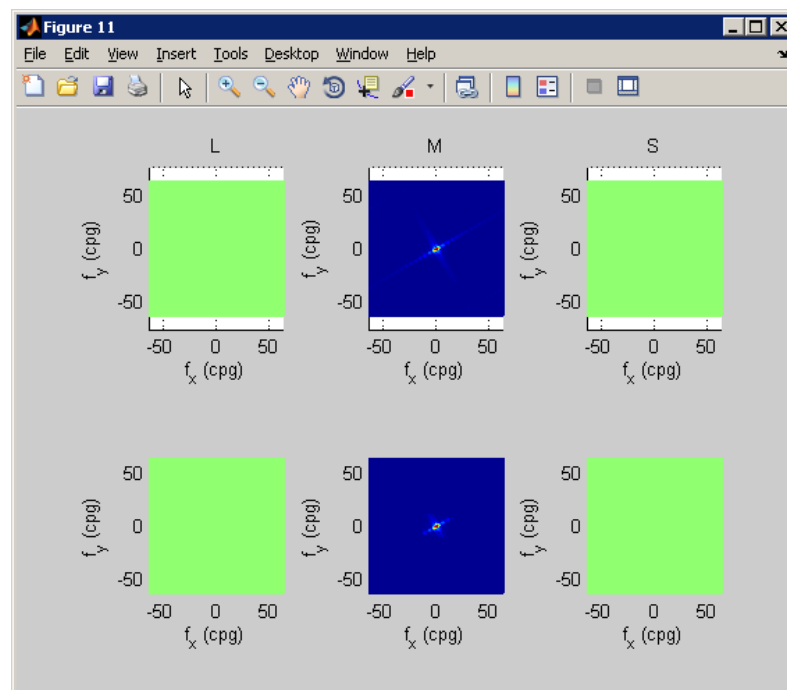


Els filtres poden ser passabaix, passabanda o passaalt. La informació que es demana en cada cas per a definir el filtre canvia lleugerament. Si el filtre és passabaix, assumim

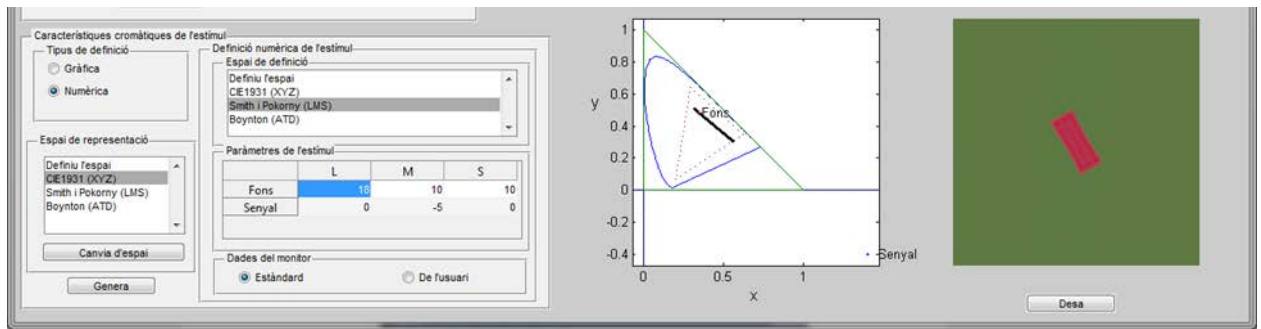
que el filtre té una banda en forma d'el·lipse (o gaussiana), i hem de donar l'orientació d'aquest a l'espai de freqüències i les freqüències de tall.



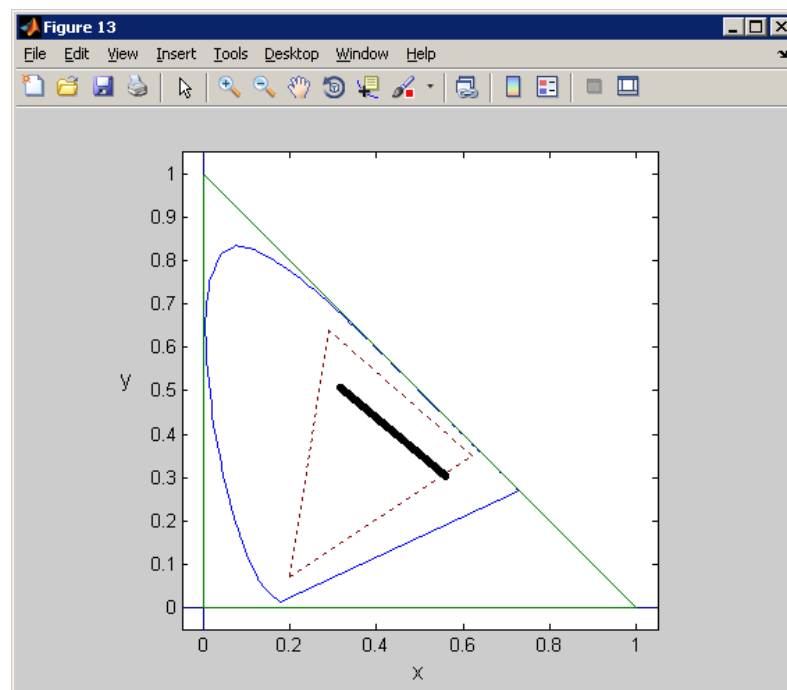
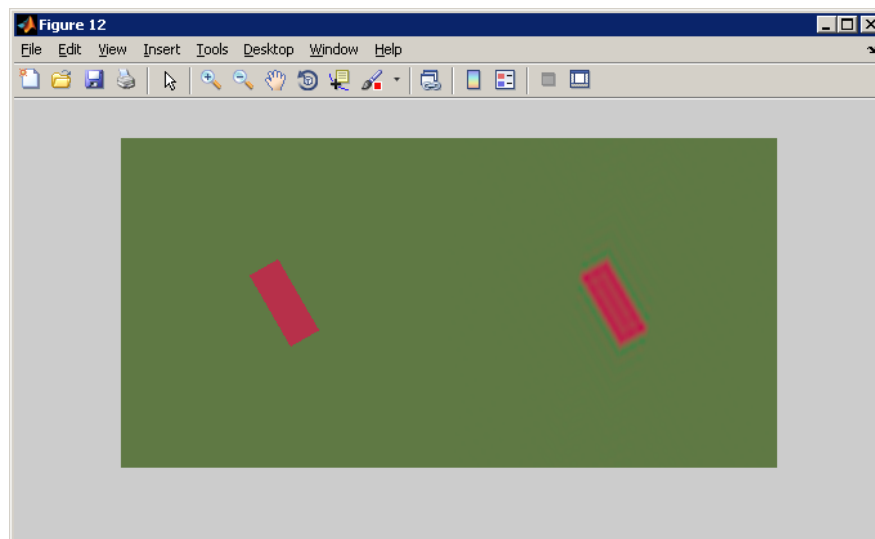
En l'exemple, el filtre talla qualsevol freqüència superior a 10 cpg en la direcció 1 (que forma un angle de  $30^\circ$  amb l'eix  $f_x$ ) i qualsevol freqüència superior a 50 cpg en la direcció perpendicular. A mesura que actuem sobre cada direcció de l'espai, el programa ens mostra en una finestra auxiliar l'espectre de la imatge original i l'espectre de la imatge filtrada.



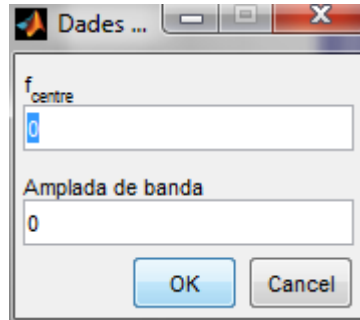
La imatge processada es mostra a la finestra principal, com es veu en la figura següent.



Simultàniament, en dues finestres auxiliars podem veure una comparació entre la imatge original i la filtrada i la paleta de colors de la nova imatge, representada en l'espai de representació escollit.



La resta dels filtres disponibles té menys opcions de configuració. Per al filtre passabanda assumim una forma d'anell i donem el centre de la banda i la seua amplada de banda.



Per últim, per al filtre passaalt, donem la freqüència de tall i de nou assumim que dintre del cercle amb radi igual a la freqüència de tall s'elimina el contingut de l'estímul. En el cas del filtre gaussià, els quadres de diàleg són similars.

