

# Experimentación psicofísica y calibración de un modelo computacional del sistema visual humano

Carlos Montoro Vargas

**Resumen**—Este artículo describe el desarrollo de un software para generar estímulos visuales psicofísicos que muestran fenómenos de inducción cromática. Dichos estímulos se utilizarán en observadores humanos con la finalidad de obtener respuestas experimentales para calibrar el modelo computacional CIWaM[1]. El software desarrollado está fundamentado en filtros de Gabor; en contraposición con el software que éste toma como referencia que está basado en anillos concéntricos. Las variables utilizadas para definir los estímulos que se muestran en los experimentos se han decidido sobretodo en base a los parámetros utilizados para modelar la curva ECSF: frecuencia espacial y contraste centro-alrededor.

**Paraules clau**—inducción cromática, filtro de Gabor, rejilla sinusoidal, experimento psicofísico, estímulos visuales

**Abstract**—This article describes a software thought to generate psychophysical visual stimuli showing chromatic induction phenomena. Those stimuli will be used in human observers to get experimental responses which will be used to calibrate the computational model CIWaM[1]. The developed software is based on Gabor filters while its predecessor use concentric rings. Stimuli's parameters has been decided by parameters used to graph ECSF's curve: spatial frequency and center-surround contrast.

**Index Terms**—chromatic induction, Gabor filter, sinusoidal grating, psychophysical experiment, visual stimuli



## 1 INTRODUCCIÓN

La luminancia es una medida fotométrica que describe la cantidad de luz que emite o refleja una area determinada.

Hay trabajos de investigación que sugieren que la percepción de luminancia en una región de una imagen no sólo depende de la luminancia de esa propia región, sino también de la luminancia de las regiones adyacentes[2].

Estos fenómenos de percepción errónea de la intensidad luminosa de una región de la imagen, son conocidos como inducción lumínica.

Cuando el nivel de luminancia de un punto determinado de la imagen se aleja del nivel de sus puntos adyacentes, estaremos hablando de contraste lumínico[3]. A la vez, si el nivel de luminancia no se aleja, si no que se acerca, estamos hablando de asimilación lumínica[4].

BIWaM (Brightness Induction Wavelet Model) es un modelo algorítmico que pretende explicar estos fenómenos de inducción lumínica descomponiendo la

imagen en planos wavelet dependientes de la frecuencia espacial y la orientación espacial[5].

El sucesor de BIWaM[5] en el dominio de color es CIWaM (Chromatic Induction Wavelet Model)[1]. Algoritmo que modela los cambios percibidos en puntos de una imagen cuando estan en presencia de otros puntos de diferente color. Es decir, fenómenos de inducción cromática.

Así pues, CIWaM[1] no solo trabaja en niveles de gris, sino en componentes cromáticas definidas en el espacio de color propuesto por McLeod y Boynton (lsY)[6], que tiene en cuenta las señales electrofisiológicas medidas en areas previas a la corteza visual de los primates[7].

CIWaM se basa en tres características básicas a la hora de predecir los fenómenos de inducción de color: frecuencia espacial, orientación espacial -tal y como se ha indicado anteriormente- y además, en el nivel comparado de contraste tanto lumínico como cromático centro-alrededor [1][5].

El propósito de este trabajo es desarrollar un software con el cual tener la posibilidad de calibrar y en la medida de lo posible, mejorar el modelo para inducción cromática CIWaM[1] a partir de resultados psicofísicos.

Podemos dividir entonces el proyecto en dos partes: Primeramente necesitaremos obtener la respuesta de observadores humanos a los distintos tipos de interacción que existen entre un punto y sus alrededores. Para ello

- 
- E-mail de contacto: cmontorov@gmail.com
  - Menció n realizada: Computació n
  - Treball tutoritzat per: C. Alejandro Párraga (Ciencias de la computació n)
  - Curs 2014/15

deberemos desarrollar un software que permita generar una serie de estímulos visuales colorimétricamente calibrados, capaces de estimular igualmente tanto a los observadores humanos como a los modelos de inducción cromática a los que se apliquen.

La segunda parte del proyecto, tratará de utilizar esta misma base de datos de estímulos visuales que hemos utilizado en el experimento, pero esta vez la aplicaremos al CIWaM[1].

Una vez obtenidos los resultados psicofísicos, se podrán ajustar las propiedades del modelo –la Extended Contrast Sensitivity Function (ver apartado 2.4)- para que sea capaz de reproducir estos resultados sin necesidad de alterar sus parámetros.

## 2 MODELOS CORTICALES DE INDUCCIÓN CROMÁTICA

### 2.1 Experimento de anillos concéntricos

Inicialmente contamos con un experimento ideado para estimular los conos de tipo S –el tipo de cono de la retina más sensible a la luz- para inducir cambios en la percepción del color. Los estímulos generados para el experimento son anillos concéntricos. Estos tipos de estímulos tienen la característica de estar relacionados con la geometría de los campos receptivos visuales de la retina[8].

En el experimento aparecen dos estímulos a la vez (ver Fig. 1). Uno en la mitad izquierda de la pantalla y otro en la mitad derecha de la pantalla.

El estímulo de la parte izquierda lo forman tres componentes diferentes: dos tipos de anillos inductores y un anillo inducido. Todos con cromaticidad distinta.

Los anillos inductores se colocan de forma intercalada entre ellos con el objetivo de simular el fenómeno de inducción sobre el anillo inducido.

El número de anillos inductores en el estímulo vienen dados por la frecuencia espacial introducida para dicho experimento. De igual forma, el ancho de cada anillo viene dado también por la frecuencia espacial ya que el radio del estímulo siempre es el mismo. Dicho de otra forma: a mayor frecuencia espacial, más anillos y menos ancho de cada uno de ellos.

En la segunda mitad de la pantalla se presenta un estímulo con solo un anillo sobre un fondo gris para que infiera lo menos posible en la percepción del color del anillo. El observador, gracias a un dispositivo externo, deberá ir desplazándose por el espacio de color  $l_sY$  para modificar el color de este anillo con el objetivo de hacer matching con el color que perciba en el anillo inducido del estímulo izquierdo.

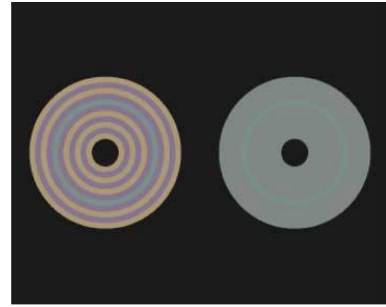


Fig. 1. Experimento basado en anillos tal y como se muestra por el monitor. (a) Estímulo de referencia con diez anillos inductores y un anillo central inducido. (b) Estímulo con un anillo de test en fondo neutro.

### 2.2 Función Gabor

Las funciones Gabor en 2D están relacionadas con los procesos de la corteza visual en los primates y ofrecen una precisión razonable para describir algunas de las características de los campos receptivos de la retina en 2D[9]. Es por esta razón que, a priori, debería poder reproducir con más fidelidad los fenómenos de inducción en los seres humanos.

Un filtro de Gabor se puede construir a partir de una rejilla sinusoidal (ver apartado 2.2.1) a la que se le multiplica una función Gaussiana (ver apartado 2.2.2).

#### 2.2.1 Rejilla sinusoidal

Una rejilla no es más que una imagen en la cual la intensidad se alterna entre valores más altos o más bajos dependiendo de una función sinusoidal (ver Fig. 2).

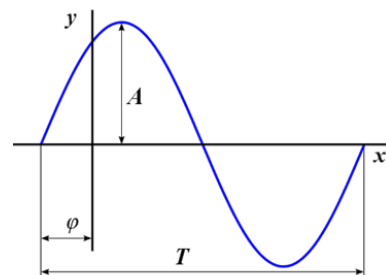


Fig. 2. Sinusoide. El valor de mayor intensidad en la rejilla se dará en  $y = A$ . El valor de menor intensidad se dará en  $y = -A$ .

Una función sinusoidal (ver Fig. 2) tiene tres componentes que podemos variar para adaptarla a nuestras necesidades: La amplitud ( $A$ ) que es el máximo valor absoluto que toma la función en el eje  $y$  respecto al eje  $x$ ; en nuestro caso siempre la tomaremos con valor  $A = 1$ . La fase ( $\varphi$ ) que es el desplazamiento horizontal de la senoide (ver Fig. 2) en grados sobre el eje  $x$ ; este valor será variable aunque por defecto lo definiremos como  $\varphi = 0$ . Y por último el valor del periodo de oscilación ( $T$ ) que podremos modificar cambiando el valor de frecuencia espacial ( $f$ ) en ciclos por grado:

$$T = \frac{1}{f} \quad (1)$$

Con estos elementos podemos crear una rejilla sinusoidal (ver Fig. 3) de dos dimensiones a la que además podemos aplicarle una orientación espacial ( $\theta$ ).

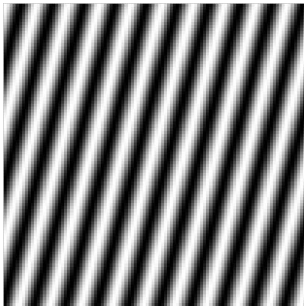


Fig. 3. Rejilla sinusoidal con rampa de blanco (máxima  $y$ ) a negro (mínima  $y$ ).  $f = 10 \text{ cpd}$ ,  $\theta = 75 \text{ grados}$

### 2.2.2 Función Gaussiana

Las funciones Gaussianas se utilizan en numerosos campos científico-tecnológicos. En estadística, por ejemplo, la función gaussiana se puede utilizar como función de densidad de la distribución normal para cálculos de poblaciones.

En el campo de la visión por computador puede tener otros usos diferentes. Se puede utilizar dentro de los métodos de suavizado de imágenes, o dentro de métodos de detección de bordes; entre otras muchas aplicaciones [10]. En nuestro caso, la función Gaussiana generada se va a utilizar de dos formas: Como máscara sobre la rejilla sinusoidal (ver Fig. 3) en los valores más altos de densidad –dejando ver el centro de la sinusoide– y a la vez como atenuante en los valores más bajos de densidad –suavizando la parte externa de la sinusoide–.

En nuestro programa podremos elegir el tamaño de la ventana de la máscara con el valor de la desviación estándar ( $\sigma$ ) de la Gaussiana.

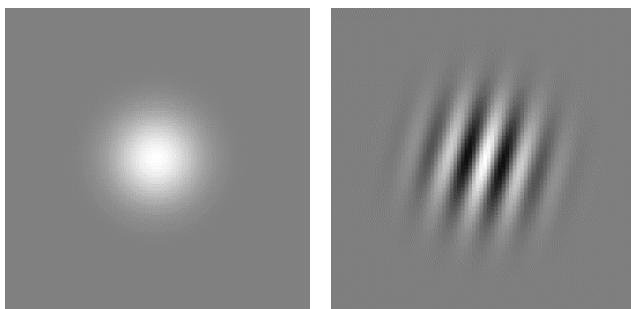


Fig. 4. (izq) Máscara Gaussiana.  $\sigma = 10$ . (der) Filtro de Gabor. Multiplicación entre las matrices de (izq) y Fig.3.

Con un valor grande de desviación estándar ( $\sigma$ ) en la Gaussiana, la ventana de la máscara toma un radio más grande pero la rejilla se ve más difuminada. Con un valor pequeño la rejilla se ve con más claridad pero la ventana de visión es más pequeña.

Nuestro filtro de Gabor (ver Fig. 4) va a tener pues, cuatro parámetros que podremos modificar para personalizar nuestros estímulos: frecuencia espacial ( $f$ ), fase ( $\varphi$ ), orientación espacial ( $\theta$ ) y desviación estándar ( $\sigma$ ).

### 2.3 Contrast Sensitivity Function

La CSF toma la frecuencia espacial y el contraste entre las barras como parámetro para definir la ventana de percepción de un ser humano. En la Fig. 5 podemos apreciar la importancia de la frecuencia espacial a la hora de percibir cambios en la imagen [11].

Sobre la línea que define la CSF (ver Fig. 5), no se observa contraste ninguno entre barras y todo se difumina en color gris. Bajo la línea sí se puede apreciar la diferencia de contraste entre barras.

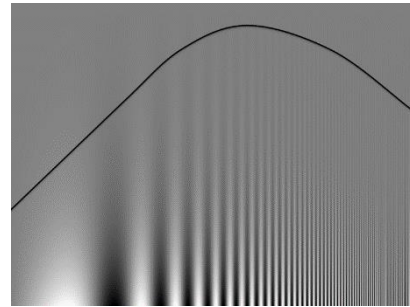


Fig. 5. Representación de la CSF. Desde bajos valores de frecuencia ( $f$ ) a la izquierda, hasta valores más grandes a la derecha. De más contraste entre líneas en la parte inferior de la pantalla, hasta menos contraste en la parte superior.

Se aprecia además que a partir de un determinado valor de frecuencia espacial, la curva empieza a descender de forma progresiva hasta que llega a un punto –que no se muestra en la Fig. 5– en el cual se deja de apreciar el contraste entre líneas.

Este punto indica la frecuencia espacial máxima en la que una persona puede apreciar contraste entre líneas. Esta percepción depende de la densidad de fotorreceptores en la retina del ojo [11][12].

En la Fig. 6 y para el caso de  $r = 1$  –que es la curva particular de la CSF– se puede observar que a partir de un valor aproximado de 80 ciclos por grado cualquier cambio en la imagen se hace inapreciable.

### 2.4 Extended Contrast Sensitivity Function

La ECSF es una generalización de la Contrast Sensitivity Function [1]. Nos ofrece la medición sobre la que se sustenta nuestro experimento ya que representa numéricamente el umbral a partir del cual es posible percibir un cambio entre puntos de una imagen.

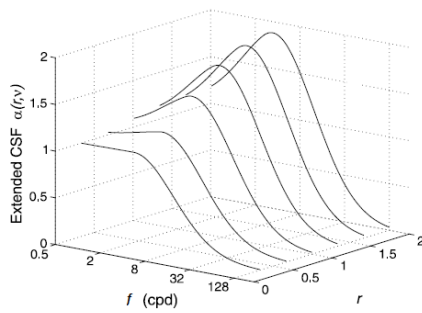


Fig. 6. Representación gráfica de la función ECSF para valores determinados de frecuencia espacial ( $f$ ) y valores de contraste centro-alrededor ( $r$ ) para el canal lumínico.

Tal y como se observa en la Fig. 6, el cálculo del peso de la ECSF depende solamente de dos variables: La frecuencia espacial y el valor de contraste centro-alrededor.

#### 2.4.1 Contraste centro-alrededor ( $r$ )

El segundo parámetro en el que se basa ECSF para el cálculo de sus pesos es la diferencia entre el contraste del centro con el contraste de su alrededor.

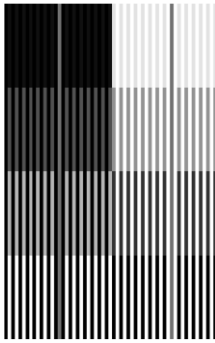


Fig. 7. Ejemplo del fenómeno de asimilación de color centro-alrededor para el campo de luminancia ( $Y$ ). Funciona de forma análoga para los campos ( $l$ ) y ( $s$ ).

Cuando el contraste del alrededor crece, la asimilación del centro también crece. O lo que es lo mismo, cuando el contraste del alrededor crece; el contraste entre el centro y el alrededor, decrece.

Para poder cuantificar este fenómeno, definiremos el contraste centro-alrededor ( $r$ ) como el contraste del centro entre el contraste del alrededor para un campo cromatico determinado  $-l, s$  o  $Y$ -:

$$r = \frac{\sigma_{centro}}{\sigma_{alrededor}} \quad (2)$$

Necesitamos ahora definir el cálculo del contraste del centro y el contraste del alrededor por separado:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (x - \bar{x})^2}{N-1}} \quad (3)$$

Definimos los contrastes como la desviación estándar de sus elementos. Dónde  $N$  es el número de elementos de cromaticidad distinta (en nuestro caso van a ser siempre 2);  $x$  el valor numérico de un elemento, y  $\bar{x}$  la media de todos los elementos.

## 3 METODOLOGÍA

### 3.1 Experimento psicofísico

Teniendo en cuenta las tres presunciones más importantes sobre las que se sustenta CIWaM [1] para explicar fenómenos de inducción -frecuencia espacial, orientación espacial y contraste centro-alrededor- se ha querido diseñar un programa que contara como variables experimentales -aparte de algunas otras- estas tres características.

Para el desarrollo del programa y de todo el trabajo en general se ha utilizado Matlab. Es un lenguaje de programación que ya ofrece de por sí bastantes herramientas que facilitan el trabajo con imágenes y que simplifica muchísimo los cálculos entre matrices.

Además contaremos con el sistema experimental de hardware y software VISAGE (de Cambridge Research Systems) que cuenta con una extensa librería de funciones preparadas para crear y mostrar de forma optimizada por pantalla los estímulos visuales que definamos.

Los estímulos del experimento se mostrarán en un monitor CRT a una distancia aproximada de 150 cm del observador y en una sala completamente a oscuras para aislar al sujeto de cualquier estímulo externo que pueda interferir en su respuesta final.

El observador, igual que en el experimento de anillos concéntricos, deberá hacer matching entre los dos estímulos presentados por el monitor. Se le proporcionará un joystick con el que podrá desplazarse por el espacio de color  $l s Y$ . Tendrá dos botones con los que desplazarse sobre el eje  $l$  (verde/rojo); dos botones más para desplazarse sobre el eje  $s$  (azul/amarillo) y otros dos botones para el eje  $Y$  (menor luminancia/mayor luminancia).

#### 3.1.1 Interfaz y estímulos producidos

El programa realizado pretende tomar como base el realizado para el experimento de los anillos concéntricos y que su funcionamiento sea parecido, pero a la vez intentando mejorarlo en algunos aspectos.

El programa de los anillos concéntricos aunque funcionaba de forma correcta sólo contaba con dos parámetros que modificar para poder crear nuevos estímulos:

- Frecuencia espacial o número de anillos en el estímulo de referencia.
- Cromaticidad de cada tipo de anillo en el espacio de color  $l s Y$ .

Para nuestro programa, tenemos dos tipos de interfaz con un número mayor de variables a modificar.

#### 3.1.2 Interfaz básica

La primera interfaz que tenemos a nuestra disposición cuenta con un total de doce parámetros repartidos en cuatro submenús.

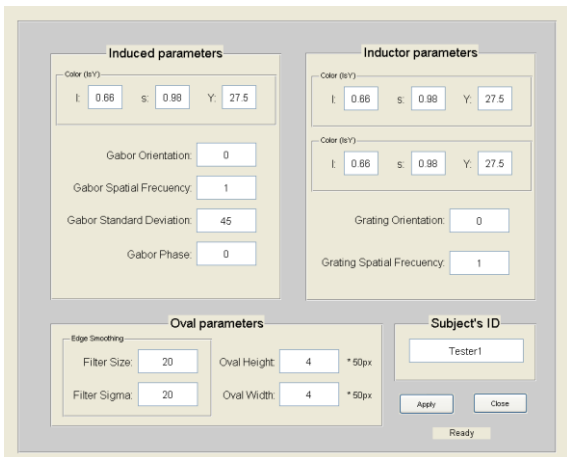


Fig. 8. Interfaz básica de configuración del experimento con Gabors.

En el submenú “Induced parameters” (ver Fig.8), se encuentran todas las características que podemos modificar de la Gabor que va a estar inducida. Se pueden definir todos los valores de la Gabor explicados en el apartado 2.2. Además se da la posibilidad de elegir el color de la rampa de la Gabor. Que va a ir desde el color en lsY que definamos en la interfaz, hasta el negro ( $Y = 0$ ).

En “Inductor parameters” (ver Fig.8) se definen las características de la rejilla sinusoidal (ver Fig. 3) que funciona como inductora de la Gabor. De la misma forma que en el submenú anterior, podremos definir la orientación espacial, la frecuencia espacial y la rampa de color de la rejilla. En este caso podremos definir ambos valores de color lsY de la rampa de la sinusoide (ver Fig. 3).

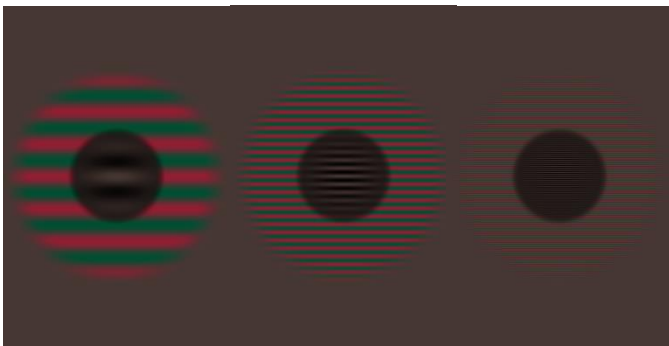


Fig. 10. Estímulos con frecuencias espaciales ( $f$ ) diferentes. Cada estímulo tiene la misma ( $f$ ) tanto para la rejilla inductora como para la Gabor inducida. De izquierda a derecha:  $f = 0.5, 2, 8$ .

En el submenú titulado “Oval parameters” (ver Fig.8) podemos definir el tamaño y/o forma de la ventana de visión de la Gabor y tenemos la posibilidad de suavizar sus bordes. Estos parámetros afectan tanto a la Gabor inducida en el estímulo izquierdo del monitor, como a la Gabor de test colocada en la mitad de derecha de la pantalla.

Por último tenemos la posibilidad de nombrar el experimento con la identificación del sujeto. Una vez finalizado el experimento, los resultados de la elección de color en lsY se guardarán junto a las imágenes iniciales y finales del experimento, dentro de la carpeta con la identificación

del observador en particular.

En esta interfaz tenemos todo lo necesario para poder hacer pruebas teniendo en mente las presunciones comentadas al inicio del capítulo. Podemos definir: La orientación espacial y la frecuencia espacial. Además a partir de los valores lsY el contraste centro-alrededor ( $r$ ) asociado al estímulo de referencia creado.

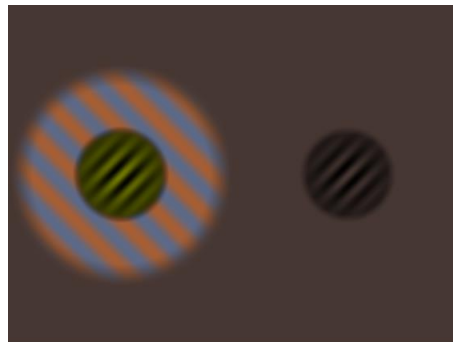


Fig. 9. Experimento con Gabors de muestra tal y como se presenta por pantalla. Induced parameters: lsY: (0.66, 0.16, 50)  $\theta = 45$  grados,  $f = 1$  cpd,  $\sigma = 45$ ,  $\varphi = 0$ . Inductor parameters: lsY1: (0.64, 1.4, 50) lsY2: (0.68, 0.60, 50),  $\theta = 135$  grados,  $f = 0.5$  cpd. Oval size: 200x200

El cálculo de  $r$  se realiza solamente para uno de los tres campos  $-l$ ,  $s$  o  $Y$ - que nosotros escojamos utilizando la fórmula (2):

$$r = \frac{\sigma_{induced}}{\sigma_{inductor}} \quad (4)$$

En el caso particular del cálculo de  $r$  para el campo de luminancia ( $Y$ ), las ecuaciones de las desviaciones estándar quedarían de la siguiente forma:

$$\sigma_{induced} = \sqrt{(x_{Y0} - \bar{x})^2 + (0 - \bar{x})^2} \quad (5)$$

$$\sigma_{inductor} = \sqrt{(x_{Y1} - \bar{x})^2 + (x_{Y2} - \bar{x})^2} \quad (6)$$

Siendo  $x_{Yi}$  el valor de luminancia introducido en el campo  $Y$  del color correspondiente en la interfaz (ver Fig.8).

### 3.1.3 Interfaz con $r$ dada

La segunda interfaz es prácticamente igual que la primera. Se diferencia en que en las opciones de los parámetros del inductor (ver Fig. 8), se sustituyen los campos del segundo color lsY de la rejilla inductora por un campo  $r$  Value.

Con esta opción ofrecemos la posibilidad de calcular uno de los campos  $-l$ ,  $s$  o  $Y$ - de un color de la sinusoide inductora (ver Fig. 9), a partir del valor determinado en el campo  $r$  Value.

Es decir, podremos generar estímulos de referencia con una  $r$  dada de antemano.

Para el cálculo del campo  $-l$ ,  $s$  o  $Y$ - partimos con los valores de  $r$  del estímulo y con la desviación estándar del inducido (5).

Empezamos tomando la ecuación (4) y sustituyendo valores:

$$\sigma_{inductor} = \frac{\sigma_{induced}}{r} \quad (7)$$

$$\frac{\sigma_{induced}}{r} = C \quad (8)$$

$$\sigma_{inductor} = C \quad (9)$$

Podemos desarrollar la ecuación anterior tomando (6):

$$\sqrt{(X_1 - \bar{x})^2 + (x_2 - \bar{x})^2} = C \quad (10)$$

$$\sqrt{(X_1 - (\frac{X_1+x_2}{2}))^2 + (x_2 - (\frac{X_1+x_2}{2}))^2} = C \quad (11)$$

Contamos con el valor de  $X_1$  pero no con  $x_2$ . Este último valor es el que necesitamos encontrar para poder definir de forma completa la rampa de color de la rejilla inductora:

$$\sqrt{\frac{2X_1^2 - 4X_1x_2 + 2x_2^2}{2}} = C \quad (12)$$

$$\sqrt{2X_1^2 - 4X_1x_2 + 2x_2^2} = 2C \quad (13)$$

$$(\sqrt{2X_1^2 - 4X_1x_2 + 2x_2^2})^2 = (2C)^2 \quad (14)$$

Esta ecuación se puede simplificar a una ecuación cuadrática de la siguiente forma:

$$2x_2^2 - 4X_1x_2 + 2X_1^2 - 4C^2 = 0 \quad (15)$$

Despejando la incógnita nos quedan dos soluciones posibles:

$$x_2 = X_1 + \sqrt{2}\sqrt{C^2} \quad (16)$$

$$x_2 = X_1 - \sqrt{2}\sqrt{C^2} \quad (17)$$

Puede ocurrir, efectivamente, que haya dos valores de un campo  $-l$ ,  $s$  o  $Y$ - del segundo color de rejilla inductora que sean válidos para un valor  $r$  determinado.

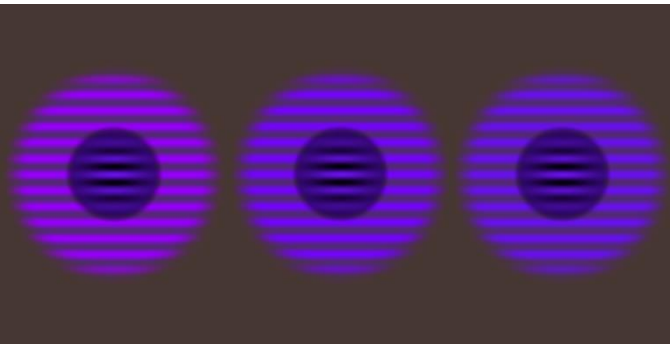


Fig. 11. Estímulos con valores de contraste centro-alrededor ( $r$ ) diferentes. De izquierda a derecha:  $r = 0.5, 1, 1.5$ . Se puede contemplar en la figura de la izquierda, como el contraste de los colores del alrededor del estímulo es mayor que el contraste del centro del estímulo ( $r < 1$ ). En contraposición, se puede ver en la figura de más a la derecha como el contraste del centro es mayor que el contraste del alrededor ( $r > 1$ ).

Pongamos, por ejemplo, que estamos buscando un valor determinado de luminancia en el segundo color de la rejilla inductora para que nos dé el valor  $r$  definido.

Para un valor en  $Y$  de 50 en el primer color de la rejilla inductora, no importa si el valor que buscamos en el segundo color es:  $50 - \sqrt{2}\sqrt{C^2}$  (16) ó  $50 + \sqrt{2}\sqrt{C^2}$  (17); ya que el valor de desviación estándar que resulte será el mismo. Y por consiguiente el valor de  $r$  final también será el mismo.

## 4 RESULTADOS

Con el objetivo último de calibrar la curva de ECSF (ver apartado 2.4), se han querido escoger parámetros que estuvieran dentro de los rangos utilizados en ella (ver Fig. 6) para realizar los estímulos visuales.

Para samplear una curva como la mostrada en la Figura 6 necesitaríamos conseguir un total de 25 muestras. Cinco valores de frecuencia espacial para cada una de los cinco valores de  $r$ . Lo que en total sumarían 25 muestras por cada observador.

Habría que generar para cada una de estas muestras un experimento diferente.

El tiempo de adaptación y aprendizaje de cada observador al entorno del experimento puede sumar un máximo 30 minutos, sumándole después 10 ó 15 minutos por cada test.

El tiempo total que debería emplear un observador para realizar todas estas pruebas sería demasiado grande.

### 4.1 Estímulos de prueba generados

Aunque finalmente no hubo tiempo de hacer las pruebas con observadores humanos, sí que se empezaron a generar los primeros posibles estímulos para futuros experimentos.

Vista la cantidad de tiempo que tendríamos que consumir haciendo el mapeado de 5 por 5 parámetros, completo (ver Fig. 6), de buen principio se quería reducir a un número menor de pruebas totales.

En primer lugar se decidió hacer los experimentos solamente para una curva determinada de la ECSF (ver Fig. 6) utilizando cinco valores de frecuencia espacial ( $f$ ) - 0.5, 2, 8, 32, 80-

Más adelante se decidió cambiar estos parámetros por un área determinada de 3 por 3 parámetros dentro de la ECSF del campo de luminancia ( $Y$ ) (ver Fig. 6), que aunque no fuera toda completa, se pudieran sacar suficientes conclusiones de ella al compararla con la ECSF inicial:

- Valores de frecuencia espacial ( $f$ ): 2, 8, 32.
- Valores de contraste centro-alrededor ( $r$ ): 0.5, 1, 1.5.

De esta forma podemos reducir notablemente el tiempo empleado por cada observador para realizar los experimentos.

Se pasaría de un tiempo total de unas siete u ocho horas mínimo entre los 25 test, descansos y aclaraciones; a dos horas y media aproximadamente en realizar los 9 experimentos.

El resto de parámetros en la interfaz de generación de

estímulos, se fijan a valores constantes para los nueve casos a generar.

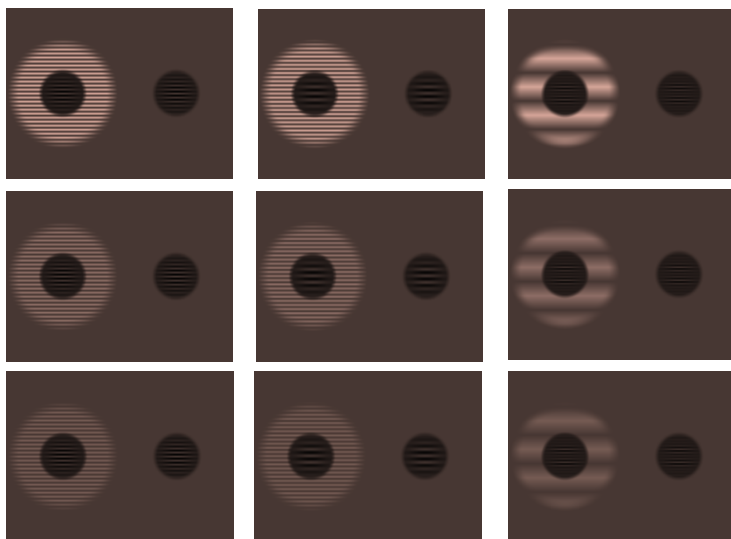


Fig. 10 Primeros 9 experimentos planteados para cada observador. De arriba a abajo: valores de contraste centro-alrededor ( $r$ ) = 0.5, 1, 1.5. De izquierda a derecha: valores de frecuencia espacial ( $f$ ) = 2, 8, 32.

Parámetros fijados de la gabor inducida:

- Orientación espacial ( $\theta$ ):  $0^\circ$
- Desviación estándar ( $\sigma$ ): 45
- Fase ( $\varphi$ ): 0
- Alto: 200 px
- Ancho: 200 px

Parámetros fijados de la rejilla inductora:

- Orientación espacial( $\theta$ ):  $0^\circ$

Aunque no se muestre en la Fig. 10 las Gabor a la derecha de cada pantalla, deberían generarse con un color aleatorio –dentro de un rango determinado– para que el observador pueda modificar el color para realizar el matching.

En este punto del proyecto, si se hubiera realizado todo acorde al plan inicial, sería el momento de recoger las respuestas de los observadores y compararlas con las respuestas del CIWaM respecto a la misma base de datos para obtener los pesos con los que ajustar el modelo (ver Fig. 6).

## 5 CONCLUSIONES

Gran parte de este trabajo estaba estructurado con la finalidad de comprender el funcionamiento de CIWaM [1] de los fenómenos de inducción cromática, y las necesidades de realizar un programa con el objetivo principal de pulir el CIWaM [1] pero que, a su vez, tuviera un cierto recorrido y fuera una herramienta útil no sólo para este proyecto en particular.

Desafortunadamente, por motivos de falta de tiempo, no se pudo cumplir algunos de los objetivos iniciales, tales como la realización de pruebas con observador, y por consiguiente, tampoco la parte referente al calibrado del

modelo.

Así mismo, cabe decir que el tiempo que se debería haber empleado para la realización de las pruebas fue invertido en la finalización del software que posteriormente se utilizaría para la creación de estímulos.

Pese a ello, detectamos que el propio software posee ciertas características a mejorar.

En la interfaz con  $r$  dada (ver apartado 3.1.3) se da la opción de calcular el segundo color de la rejilla inductora a partir de un valor dado de  $r$ .

Una buena mejora en este sentido sería poder elegir qué color calcular a partir de esta  $r$  dada: Color de la sinusoidal –la que no es negra– de la Gabor inducida (ver Fig. 9), primer color de la rejilla inductora o el segundo color de la rejilla inductora.

Esta mejora daría al programa más versatilidad de cara a hacer pruebas y generar nuevos estímulos para posibles experimentaciones futuras.

La elección de estímulos de prueba, en nuestro caso (ver apartado 4.1), se limitó a un caso concreto lo más básico posible y con muchos parámetros fijados.

En este campo se ve muy claramente que hay muchísimo margen de mejora y mucho terreno por explorar, viendo las opciones con las que contamos para generar estímulos (ver apartados 3.1.2/3.1.3).

Por ejemplo, se podrían generar estímulos basados no solamente en la frecuencia espacial ( $f$ ) y el contraste centro-alrededor ( $r$ ) sino también en la orientación espacial ( $\theta$ ) que es una característica muy importante para explicar fenómenos de inducción cromática. También podríamos modificar el tamaño de la Gabor o su Gaussiana y estudiar hasta qué punto afectan en la percepción de los colores.

En definitiva, aunque algunos de los objetivos iniciales no se han podido cumplir para este proyecto, se ha conseguido dejar una base suficientemente sólida en cuanto a software para que parte de éste se pueda aprovechar como pequeña referencia para trabajos posteriores.

## AGRADECIMIENTOS

Agradecer profundamente a C. Alejandro Párraga por su paciencia durante estos meses y su buena predisposición a responder y solucionar cualquier duda o problema por muy absurdo que fuera.

Agradecer también a Javier y Juan José por su infatigable ayuda en este último año.

## BIBLIOGRAFIA

- [1] Xavier Otazu, María Vanrell y C. Alejandro Párraga, "Toward a unified chromatic induction model", *Journal of Vision*, 10(12):5, 1-24, 2010
- [2] F.A.A Kingdom, "Simultaneous contrast: the legacies of Hering and Helmholtz", *Perception*, 26, pp. 673-677, 1997
- [3] Heinemann, E. G. Simultaneous brightness induction as a function of inducing and test-field luminances. *Journal of Experimental Psychology*, 50(2), 89-96.Fdf, 1955
- [4] Helson, H.. Studies of anomalous contrast and assimilation, 1963
- [5] Xavier Otazu, María Vanrell y C. Alejandro Párraga,

- "Multiresolution wavelet framework, models brightness induction effects. *Vision Research*, 48, 733-751, 2008
- [6] MacLeod, D. I. A. & Boynton, R. M. Chromaticity diagram showing cone excitation by stimuli of equal luminance. *Journal of the Optical Society of America*, 69(8), 1183-1186, 1979
- [7] Osorio, D. & Vorobyev, M. Colour vision as an adaptation to frugivory in primates. *Proceedings of the Royal Society of London*, 1996
- [8] Monnier, P., & Shevell, S. K. Chromatic induction from S-cone patterns. *Vision Research*, 44, 849-856, 2004
- [9] Daugmann, J. G. Two-dimensional spectral analysis of cortical receptive field profile. *Vision Research*, 20, 847-856, 1980
- [10] Lowe, David G. "Object recognition from local scale-invariant features." *Computer vision, 1999. The proceedings of the seventh IEEE international conference on*. Vol. 2. Ieee, 1999.
- [11] Owsley, Cynthia, Robert Sekuler, and Dennis Siemsen. "Contrast sensitivity throughout adulthood." *Vision research* 23.7 , 689-699, 1983
- [12] Amesbury, E. C., & Schallhorn, S. C. Contrast sensitivity and limits of vision. *International ophthalmology clinics*, 43(2), 31-42, 2003