

**REPRESENTACIÓN DE LA FORMACIÓN DE PINWHEELS EN EL ANÁLISIS
DE LAS COLUMNAS DE ORIENTACIÓN DE LA CORTEZA VISUAL A PARTIR
DE UNA HERRAMIENTA INFORMATICA**

JUAN DAVID SÁNCHEZ BRAVO

Asesor

DIEGO OVALLE

INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA POLITECNICO GRANCOLOMBIANO
FACULTAD DE POSTGRADOS
ESPECIALIZACION EN MATEMÁTICA APLICADA CON ENFASIS EN
COMPUTACIÓN
BOGOTÁ D.C.

2016

Contenido

INTRODUCCIÓN	iv
MARCO TEORICO	8
REPRESENTACIÓN DE UN MODELO.....	8
EXPERIMENTACIÓN DE GARY BLASDEL, WIESEL Y HUBEL.....	9
MOLINETES O PINWHEELS.....	10
JUSTIFICACIÓN	13
OBJETIVOS	15
OBJETIVO GENERAL	15
OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	15
METODOLOGÍA	17
RESULTADOS.....	27
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	33
5.1 Conclusiones	33
IBLIOGRAFIA	34
ANEXOS.....	35

**REPRESENTACIÓN DE LA FORMACIÓN DE PINWHEELS EN EL ANÁLISIS
DE LAS COLUMNAS DE ORIENTACIÓN DE LA CORTEZA VISUAL A PARTIR
DE UNA HERRAMIENTA INFORMÁTICA**

INTRODUCCIÓN

En 1981 se reconoce el trabajo investigativo acerca del comportamiento de las neuronas encargadas de reaccionar a los estímulos visuales, en el estudio sobre la orientación visual se registra el premio Nobel de Fisiología 1981 para los neurofísicos Hubel y Wiesel desde donde parte el marco teórico de este trabajo.

Las primeras descripciones de la estructuración de la corteza cerebral se remontan desde mediados del siglo XIX con técnicas de tinte celular. “Hanover (1840) utilizó por primera vez la fijación del tejido nervioso en ácido crómico; asimismo, Von Gerlach (1858) introdujo la tinción celular por medio de dicromato de potasio y carmín amoniacal. Gracias a estos procedimientos fue posible describir la corteza cerebral como una estructura compleja, compuesta por diversos tipos de células” (Arteaga & Pimienta, 2004).

Pero fue hasta la propuesta formulada por Mountcastle, que nace la llamada “Hipótesis Columnar”, es decir la propuesta formal de una organización en columnas de la corteza cerebral, que luego de los estudios realizados por Michael Stryker, de la Universidad de California en San Francisco y posteriormente, de los experimentos realizados por Gary Blasdel, esto dio pie a la idea propuesta por Hubel y Wiesel (1980) de que el córtex estaba organizado en columnas de 1/2 mm de diámetro, de modo que cada columna contenía células que respondían óptimamente a cierta orientación y, a cada columna, le correspondían campos receptivos situados en la misma porción de la retina; ello facilitaba el trabajo, ya que los billones de conexiones del córtex se hallaban agrupados anatómicamente, según la orientación de los estímulos óptimos a los que respondían. Hubel y Wiesel llegaron a afirmar que una columna de orientación es como un mecanismo que procesa los bordes que tienen una cierta orientación en una parte específica del campo visual (de la retina).

El experimento de Blasdel que será el enfoque de este documento, según David Hubel, consistió en la utilización de colorantes sensibles al voltaje. En esta técnica, se tiñe con un colorante sensible al voltaje las células nerviosas de la corteza visual de un animal y al estimular la visión del mismo, las neuronas responden a dicho patrón de orientación y evidencian ligeros cambios de color, estos fueron grabados y filtrados de ruido para obtener la representación de colores según la orientación del estímulo visual. Blasdel estimuló la visión del animal con rayas en alguna orientación particular, realizando una fotografía del patrón de actividad en una región de la superficie cortical, unos pocos centímetros en la zona, y repitió el procedimiento para muchas orientaciones. Adicionalmente, le asignó un color a cada orientación, por ejemplo, rojo para vertical, naranja para diagonal, y así sucesivamente, y superpuso las imágenes. Como resultado obtuvo una imagen donde aparecían ciertos molinetes de colores que indicaban las células muy cercanas activadas para muchas orientaciones (Figura 1).



Figura 1. Resultados del experimento realizado por Gary Blasdel.

Esta imagen y las confirmadas posteriormente por Hubel y Wiesel, parecen obedecer a un patrón de distribución gaussiana que se explicara y modelara computacionalmente en el desarrollo del documento. A través de éste documento se tratara el experimento constando de lo siguiente:

El capítulo I abarca todo lo relacionado al aspecto teórico y conceptualizaciones principales, así como también informaciones generales referentes a la representación visual de molinetes por parte de la corteza cerebral.

El capítulo II justificación se explicara el porqué de la implementación y análisis del algoritmo.

El capítulo III, donde se plantea lo que busca abarcarse dentro del trabajo.

El capítulo IV abarca la metodología de la representación del modelo desarrollado, algoritmo y todos los factores implícitos en la implementación del mismo. Asi mismo se presenta el resultado obtenido luego de haber aplicado los algoritmos de programación.

En el capítulo V se exponen las conclusiones arrojadas a raíz del trabajo realizado. Por otro lado, luego finalizar los 5 capítulos, se presentan las referencias bibliográficas utilizadas para complementar el presente documento.

El presente trabajo fue realizado en el período comprendido entre Enero y Junio del año 2016.

CAPITULO I
MARCO TEORICO

MARCO TEORICO

El siguiente capítulo del trabajo tiene aspectos básicos de la implementación realizada por Blasdel además de algunas características de la fisiología del cerebro, el por qué considerar este trabajo la representación de un modelo y una breve descripción de qué es un molinete que será resultado esperado en el desarrollo del trabajo.

REPRESENTACIÓN DE UN MODELO

Dentro del trabajo es necesario entender que es la realización de una simulación aleatoria del fenómeno ya descrito, para esto es necesario entender la definición de modelo matemático como una representación a partir de fórmulas matemáticas y/o estadísticas para llegar a un fin controlado de una experiencia o fenómeno físico.

Dentro de los modelos se pueden diferenciar factores que ayudan a categorizarlos, para el trabajo que se realiza al considerarse que se tienen valores aleatorios dentro de un rango definido es considerado como un modelo estocástico y este modelo a su vez se representa a manera de simulación informática siendo esta la manera de evidenciar el funcionamiento del modelo.

EXPERIMENTACIÓN DE GARY BLASDEL, WIESEL Y HUBEL

Se plantea la explicación de los hechos más característicos de la experimentación con la corteza visual realizada por Blasdel, Wiesel y Hubel, esto resumiendo los hechos, las características y los resultados de dichos experimentos. El objetivo de estos experimento se basó en el la representación visual de comportamiento de sistema visual, y como se modelaba dicho recorrido de los estímulos visuales de la retina a la corteza visual del cerebro.

La investigación realizada por estos neurofísicos está basada en el análisis de las neuronas de la corteza visual del cerebro en simios y gatos, buscando a partir de experimentos controlados analizar el comportamiento de las neuronas de la corteza cerebral y a partir de impulsos eléctricos. Cuando las neuronas emitían impulsos estos eran referenciados con un tiente especial que dejaba ver que neuronas reaccionaban ante los diferentes tipos de estímulo.

Los estímulos expuestos a simios y gatos contenían una orientación específica, como se puede observar en la figura 1, y a partir de esta exposición al estímulo se analizaba la coloración de la tinta que reacciona a los impulsos de las neuronas.

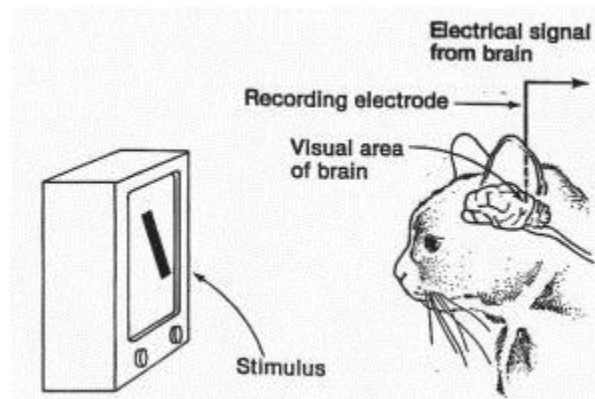


Figura 2. Experimento de Wiesel y Hubel. (Grafica tomada de <http://jralonso.es/2016/01/11/la-suma-para-construir-un-todo/>)

Estos experimentos representaban el camino que recorre la luz, que entra en la retina, es parcialmente procesada en ella según su longitud de onda con pigmentos en las células retínicas, allí los fotones dan origen a los impulsos electroquímicos característicos de las neuronas, que parten de los respectivos nervios ópticos de cada ojo hacia el cuerpo geniculado lateral del tálamo, tomando en él la forma de mapa topográfico de la escena visual percibida (Figura 2). Se sabe que todo eso sucede inconscientemente. El tálamo conecta con otras zonas del cerebro, como la amígdala o el hipotálamo. Luego la información continua hacia la corteza visual, en dónde en varias capas se va procesando los distintos aspectos del estímulo visual y se crea el mosaico de la realidad exterior, un mosaico que, dado que en su origen ha tomado de la luz su colorido y su intensidad, bien podríamos considerar una vidriera.

MOLINETES O PINWHEELS

Dentro del trabajo realizado es necesario definir los Pinwheels al considerarse su representación grafica el resultado esperado al finalizar el proyecto, a continuación se abordara la definición brindada por David en su libro “Eye, Brain and Vision”.

Se definen los Molinetes comúnmente llamados Pinwheels que se forman dentro del área primaria de la corteza visual, representan el punto donde convergen varias células corticales que responden a muchas orientaciones dadas por los estímulos visuales de su campo receptivo. En otras palabras donde diferentes estímulos en diferentes orientaciones convergen, las células de la corteza representan un punto central que reúne colores de las diferentes orientaciones como se puede visualizar en la imagen:

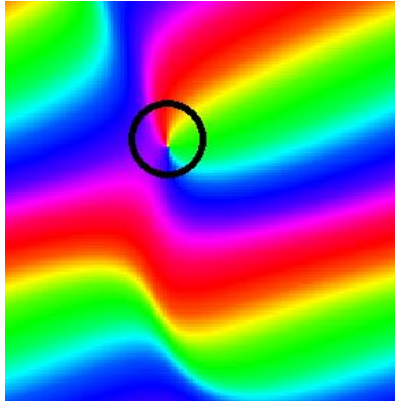


Figura 3. Pinwheel (figura obtenida de la experimentación realizada)

CAPITULO II
JUSTIFICACIÓN

JUSTIFICACIÓN

Para el desarrollo del trabajo de grado se propone la representación en una herramienta informática de un modelo matemático que simula la formación de molinetes en la corteza del cerebro a partir de estímulos visuales con una orientación determinada, partiendo desde la referenciación de los experimentos desarrollados al respecto hasta el desarrollo de un algoritmo que cumpla con dicha representación de los experimentos. Esta labor se llevó a cabo a partir de la recolección de información comprendida en documentos, investigaciones, foros etc. La experiencia supuso, además de la recopilación de información la experimentación con el software para llegar a un resultado óptimo que cumpliera con los objetivos establecidos.

Dentro de los resultados y beneficios esperados a partir de esta realización de este proyecto está el evidenciar la importancia de los modelos matemáticos aplicados a campos de la fisiología, donde se pueden alterar variables de manera controlada para entender y analizar el comportamiento de elementos fisiológicos que de manera práctica pueden comprometer el organismo estudiado, así mismo poder mostrar la gama de campos que aborda la matemática y que no son muy conocidas dentro de los campos de estudio cotidiano.

CAPITULO III

OBJETIVOS

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Representar de forma computacional la fórmula matemática que simula las imágenes obtenidas experimentalmente por Gary Blasdel en la estimulación visual de la retina a partir de elementos con una orientación específica.

OBJETIVOS ESPECIFICOS

- ✓ Comprender el experimento realizado Gary Blasdel referente a la corteza visual.
- ✓ Representar computacionalmente el modelo matemático que describe dicha experimentación.

CAPITULO IV
METODOLOGÍA

METODOLOGÍA

La metodología realizada se representara a partir de diagramas de flujo que contienen la descripción del algoritmo utilizado para la realización de la simulación de los Pinwheels:

Ya habiendo conocido la definición partimos de la fórmula general que está dada por la sumatoria de números aleatorios complejos con distribución gaussiana (A_k) las cuales representan la posición de las células dentro de la capa cortical, multiplicado por Euler elevado a un valor imaginario que denota las fases de los campos receptivos (ψ) (Veltz, Chossat, & Faugeras, 2015).

$$f(z) = \sum_{k=1}^N A_k e^{j\psi}$$

$$f(z) = \sum_{k=1}^N A_k e^{j(w_k * x + \eta_k * y)}$$

Fórmula 1.formual general.

En términos generales a partir de esta fórmula podemos observar la formación de las espirales.

Metodológicamente para el desarrollo del algoritmo que se emplea para la representación de dicho fenómeno se utiliza el software Matlab y este tendrá como resultado una aplicación de tipo GUIDE.

1. Inicialmente se toma tres valores de entrada las siguientes variables:
 - L variable de tipo entero que representa el número de estímulos que se tomaran como muestra. Dentro del experimento realizado por Blasdel los estímulos eran representados por líneas dibujadas con una orientación específica.

- Sigma X, sigma Y: estas variables son el sigma de la distribución normal que representa la neurona excitadora y la neurona inhibidora respectivamente, la reacción de estas neuronas esta modelada en una teoría conocida como diferencia Gaussiana y cada una de ellas se comporta como una distribución normal teniendo una representación por medio de las siguientes ecuaciones (Hartline, 1940; Barlow, 1953; Hubel y Wiesel, 1962):

$$CRc(x, y) = \frac{1 * \exp\left(-\frac{x^2 + y^2}{2\sigma^2 cen}\right)}{2\pi\sigma^2 cen}$$

Ecuación 2. Componente excitatoria

$$CRp(x, y) = \frac{1 * \exp\left(-\frac{x^2 + y^2}{2\sigma^2 per}\right)}{2\pi\sigma^2 per}$$

Ecuación 3. Componente inhibitoria

Representando gráficamente esta fórmula con un sigma de 5 se puede observar la siguiente gráfica:

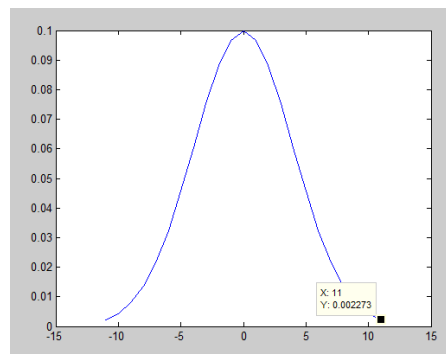


Figura 4. Distribución normal

Teniendo en cuenta este comportamiento que se quiere representar, se utiliza la función `normrnd` para tomar cantidades aleatorias de la distribución gaussiana.

- w_k y η_k : las cuales se escogen en un rango de valores aleatorios entre 0 a 2π , a su vez estas son divididas por valores que permitan visualizar mejor las espirales (Pinwheels) en la gráfica, por ello mediante una prueba de ensayo y error se seleccionan dichas constantes.

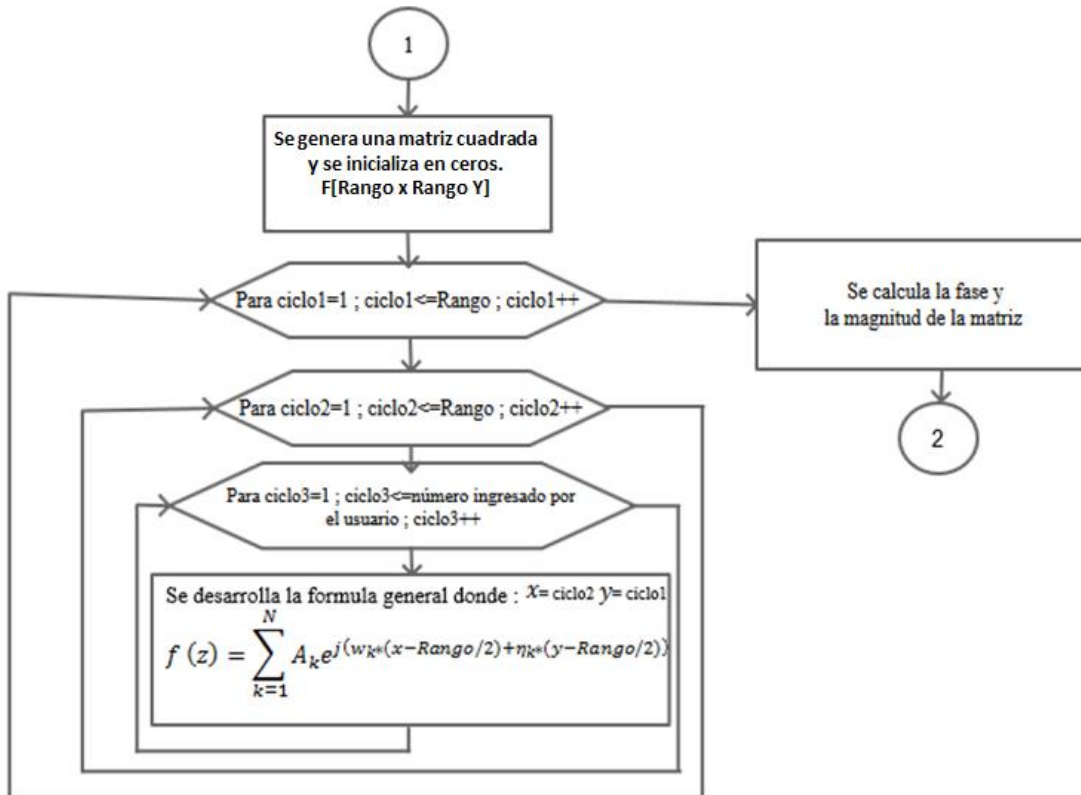
Ya habiendo definido las variables, estas se solicitan al usuario aclarando que deben ser números positivos.

Por otra parte, se tiene en cuenta que para recrear la imagen es necesario especificar una matriz cuadrada en la que internamente se desarrolla la fórmula general (fórmula 1) y se toma en cuenta la representación del eje real (x) e imaginario (y) dentro de la matriz, por ello se especifica (x) como la columna y (y) como la fila, a su vez que se centran los valores. Es de resaltar que las variables aleatorias generadas con distribución gaussiana representan la parte real e imaginaria de las A_k , debido a esto se muestra como un número complejo. En el siguiente esquema se muestra el desarrollo del proceso descrito, junto el cálculo de la magnitud y la fase, los cuales más adelante especifican las variables HSV. Para realizar este paso se sigue el siguiente proceso:

- Se genera una matriz cuadrada y se inicializa en ceros.
- Para representar la fórmula, se utilizan tres ciclos anidados como se demuestra en el algoritmo realizado.

$$f(z) = \sum_{k=1}^N A_k e^{j(w_k * x + \eta_k * y)}$$

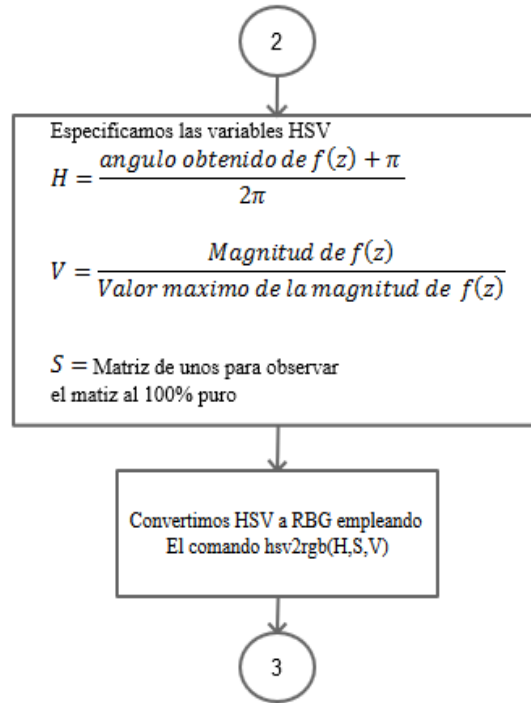
Dentro del código ciclo1, ciclo 2 son variables que controlan la posición de la matriz que guarda los valores y 'l' se refiere al número de estímulos que se están representando. Para visualizar esta parte se refleja el proceso en el siguiente diagrama de flujo:



- Ya habiendo obtenido $f(z)$ se busca aplicar el modelo de color HSV para luego después transformarlo a RGB, por lo cual es necesario calcular de $f(z)$ la fase del número complejo dado que esta representa el valor del matiz (H) en la formula, la magnitud es empleada para hallar el valor (V) que indica la variación de las tonalidades de blancos y negros, y la saturación lo indicamos como una constante que nos permite observar el matiz al 100% puro, sin embargo es necesario realizar unos ajustes para que los valores obtenidos tanto de la magnitud y la fase pertenezcan al rango entre [0,1], dicho esto se aplican las siguientes formulas:

$$H = \frac{\text{angulo obtenido de } f(z) + \pi}{2\pi}$$

$$V = \frac{\text{Magnitud de } f(z)}{\text{Valor maximo de la magnitud de } f(z)}$$



En la primera fórmula se suma π debido a que en MATLAB el comando `angle()` ubica los ángulos entre $\mp\pi$, asimismo buscamos que el resultado obtenido de la fase de $f(z)$ se encuentre en el rango entre $[0, 1]$, y dado que los valores están representados en radianes dividimos entre 2π para que cumpla la condición. En la segunda ecuación, se busca que la magnitud de $f(z)$ se ubique entre $[0, 1]$ para ello se divide por el máximo valor de la magnitud. A continuación, se muestra el proceso descrito mediante un flujograma y la relación del espacio de color HSV con el modelo de color RGB (Fig. 4).

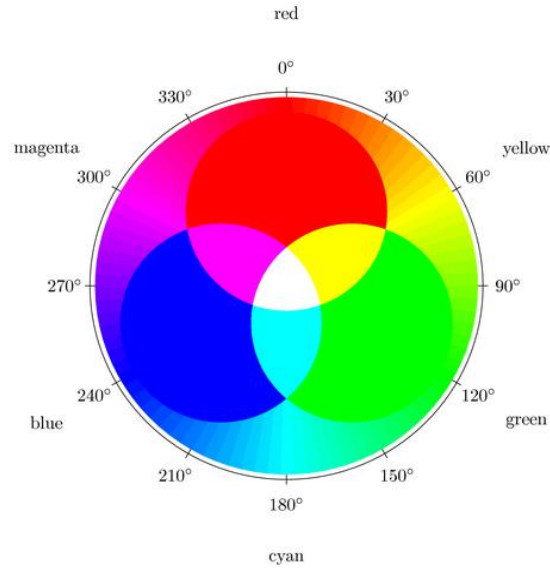


Figura 4: Ilustración que muestra la relación de los dos modelos de color, tomando como parámetros la saturación y el valor iguales a 1.¹

Tomando como referencia la ilustración de la figura 4, se modifican los ángulos que representan las tonalidades principales, para que cada una maneje una variación de 90°, esto se asocia en la Tabla 1.

¹ Relación de los modelos de color [Figura 4]. Recuperado de <http://www.texample.net/tikz/examples/rgb-color-mixing/>

Tabla 1: Modificación del Modelo de colores RGB

Color	Ángulo RGB			Modificación Ángulo		
	Sexagesimal	Radianes	Escala de 0-1	Sexagesimal	Radianes	Escala de 0-1
Rojo	0°	0 rad	0	0°	0 rad	0
Amarillo	60°	$\frac{\pi}{3}$ rad	$\frac{1}{6}$	90°	$\frac{\pi}{2}$ rad	$\frac{1}{4}$
Verde	120°	$\frac{2\pi}{3}$ rad	$\frac{1}{3}$	180°	π rad	$\frac{1}{2}$
Azul	240°	$\frac{4\pi}{3}$ rad	$\frac{2}{3}$	270°	$\frac{3\pi}{2}$ rad	$\frac{3}{4}$
Rojo	360°	2π rad	1	360°	2π rad	1

Empleando la información de la Tabla 1, realizamos la representación gráfica de la modificación de los ángulos en el modelo de colores RGB, y se haya las ecuaciones correspondientes a cada recta (Fig. 5). Siendo la función respecto a x:

$$f(x) = \begin{cases} \frac{2x}{3}, & x < 0.5 \\ \frac{4x}{3} - \frac{1}{3}, & x \geq 0.5 \end{cases}$$

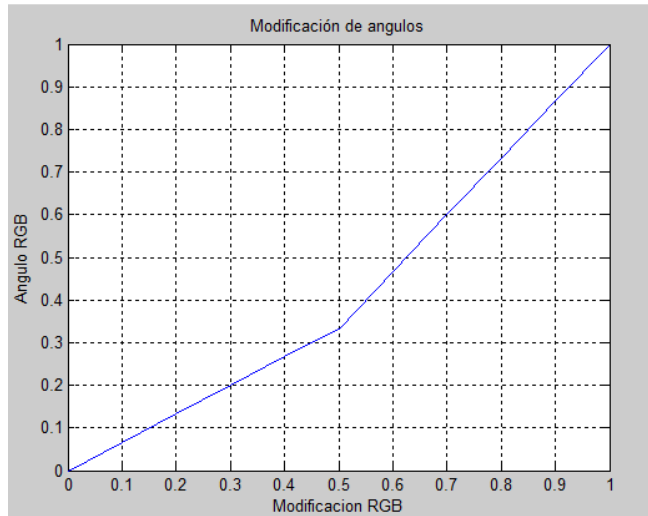
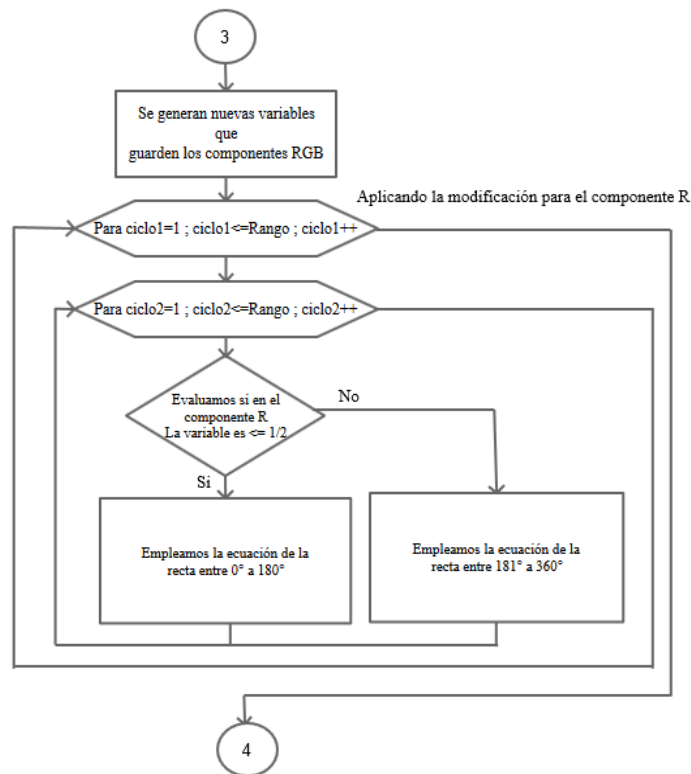
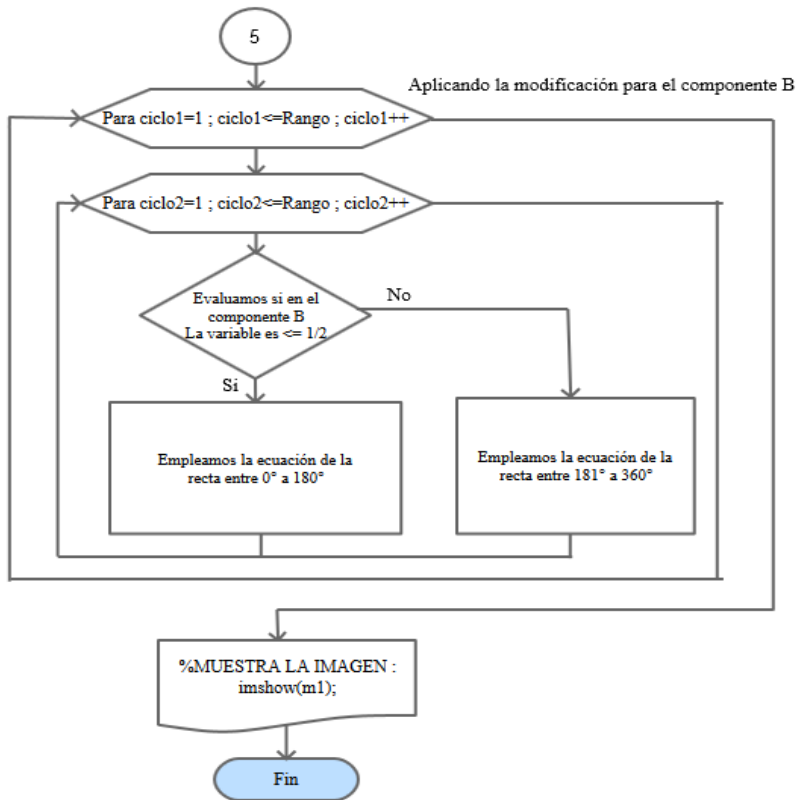
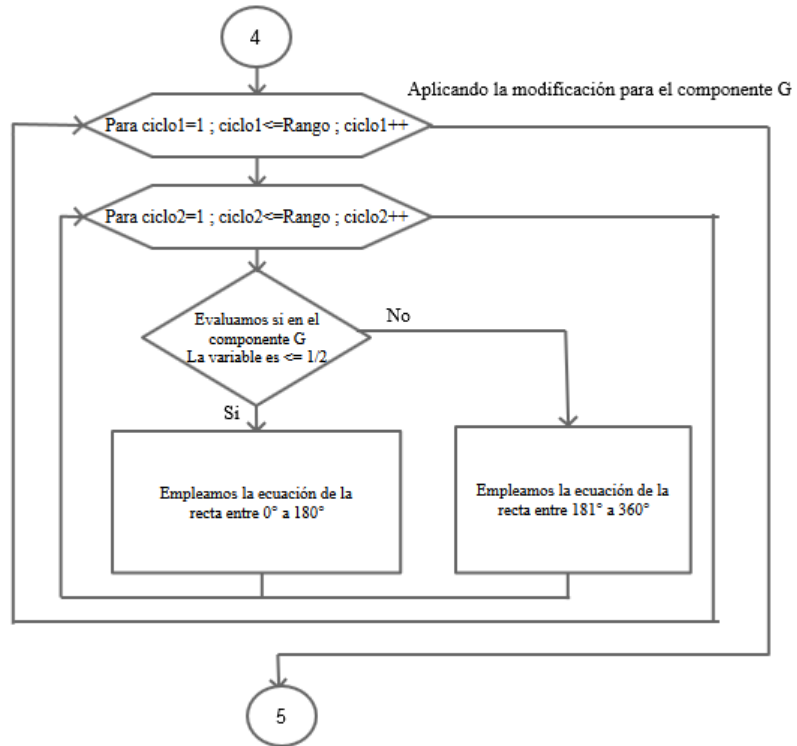


Figura 5: Modificación de los ángulos en el modelo de colores RGB.

Tomando en cuenta las ecuaciones de cada una de las rectas, se procede en el código a implementar las variaciones y a finalizar el algoritmo, empleando el siguiente proceso donde se crean las tres matrices (R, G y B) de la imagen final.





3. Al finalizar la ejecución del algoritmo se presentan los resultados con tres imágenes, la primera es la imagen que se obtiene como resultado del proceso, la segunda se hace una transformación a escala de grises para así visualizar las tonalidades de la imagen y en la tercera imagen se obtiene el histograma de la imagen para así conocer cuál es la proporción de los colores en el resultado obtenido. El resultado se evidencia en la siguiente imagen:

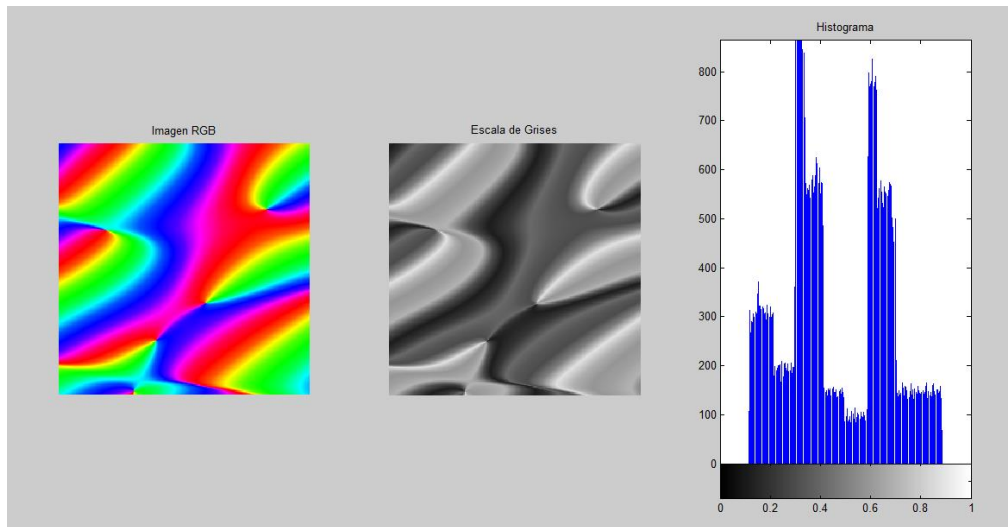


Figura 6. Resultado de la simulación realizada.

Dentro de esta simulación realizada donde se representan 4 estímulos, se evidencia mayor coloración del área azul y verde en la imagen final (Fig. 6) que según los resultados arrojados por los experimentos de Blasdel se estaría hablando de objetos horizontales de 90 y 110 grados aproximadamente, además se ven 4 cruces de estímulos evidenciados en los pinwheels representando el cruce entre estímulos, demostrando así la finalización del algoritmo empelado y obteniendo el resultado esperado.

RESULTADOS

A partir de la simulación se pretende especificar como se obtienen los colores que representan la orientación del estímulo según la excitación de la neurona inhibitoria y excitatoria. Para evidenciar la representación de cada color se utiliza dentro del algoritmo un estímulo que será el que demuestre el color según dicha excitación. En la siguiente figura se observa los diferentes colores que se obtienen con una orientación característica según el estímulo:

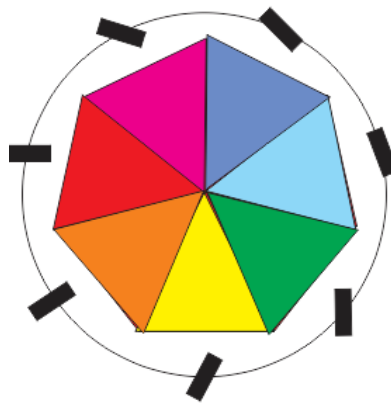

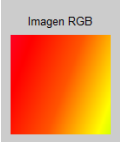



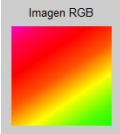

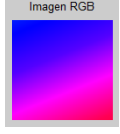

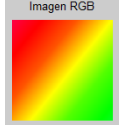

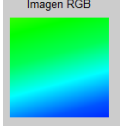

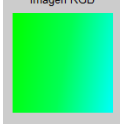


Figura 7. Colores con su respectiva orientación.

La anterior figura (Fig. 7) se puede expresar como el recorrido de los colores a partir de la diferencia de los impulsos de ambas neuronas, esta diferencia realiza un tipo de recorrido por la figura que arranca en su punto mínimo que es la excitación negativa de las neuronas representando el color rojo y a medida que esta diferencia se mueve sobre un plano va tomando los otros colores hasta llegar a su otro extremo que es el color violeta. Otro detalle necesario de aclarar es el que si la neurona excitatoria es mayor a la inhibitoria el sentido de giro va contrario a las manecillas del reloj y si la inhibitoria es mayor entonces ocurre al contrario, en sentido a las manecillas del reloj.




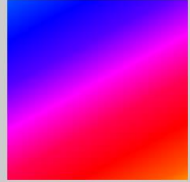



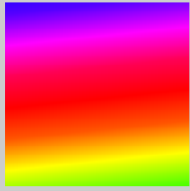
En las primeras pruebas realizadas se usa un estímulo para observar la influencia de la excitación en cada neurona y así poder identificar los patrones característicos de la imagen según la variación de las neuronas. Los resultados obtenidos se representaron en la siguiente tabla (Tabla 1) que refleja las condiciones en las cuales deben estar las neuronas para obtener un valor concreto:

Tabla 1. Colores obtenidos a partir de un estímulo.

RANGO	ORIENTACIÓN	RESULTADO
N. Excitatoria: -9 N. Inhibitoria: -4		
N. Excitatoria: 5 N. Inhibitoria: -6		
N. Excitatoria: -3 N. Inhibitoria: -2		
N. Excitatoria: 9 N. Inhibitoria: 4		
N. Excitatoria: -7 N. Inhibitoria: -9		
N. Excitatoria: -1 N. Inhibitoria: 3		
N. Excitatoria: 5 N. Inhibitoria: -3		

En las siguientes pruebas se utiliza el modelo para representar una imagen con cuatro estímulos. Los estímulos son representados de manera individual para identificar cual es la orientación del estímulo asociado y después se evidencia el resultado de la representación del cerebro. Los estímulos de manera individual se reflejan en la siguiente tabla (Tabla 2):

Tabla 2. Resultados a segundas pruebas.

RANGO	ORIENTACIÓN	RESULTADO
N. Excitatoria: 1,26394352 N. Inhibitoria: 5,62614055		
N. Excitatoria:- 2,35835597 N. Inhibitoria:3,41416334		
N. Excitatoria: 1,08151281 N. Inhibitoria:- 2,61108405		
N. Excitatoria:- 2,84529084 N. Inhibitoria:0,24578193		

En el modelo matemático que se desarrolla aunque se permite alterar que tipo de variables ingresarían por la retina óptica no se puede controlar en la posición en que aparece, ya con el resultado del algoritmo se puede leer como podría estar dicha posición de cada estímulo identificando los Pinwheels que se forman. El resultado de ejecutar el algoritmo con los estímulos de la tabla 2 se presenta en la siguiente imagen (Fig. 8):

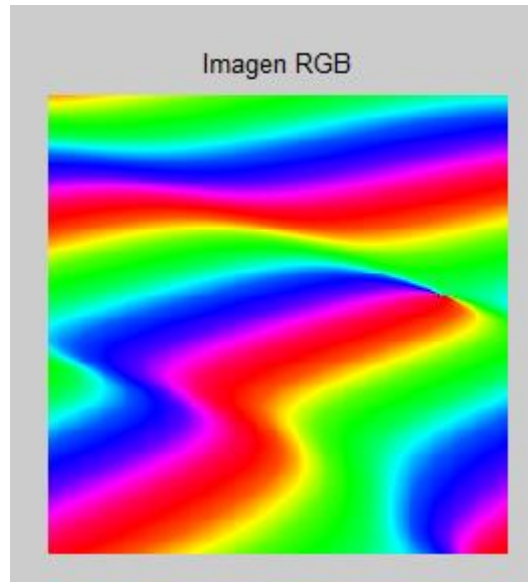


Figura 8. Resultado exposición a cuatro estímulos

Dentro de la figura se puede observar la formación de un Pinwheels que representaría un cruce entre los estímulos que se utilizaron en la exposición a la retina.

El resultado final del trabajo se ve reflejado en una aplicación que realiza la ejecución del algoritmo utilizando valores aleatorios para demostrar que tipos de imágenes se pueden observar con la exposición de diferentes estímulos al cerebro. El interfaz es el siguiente:

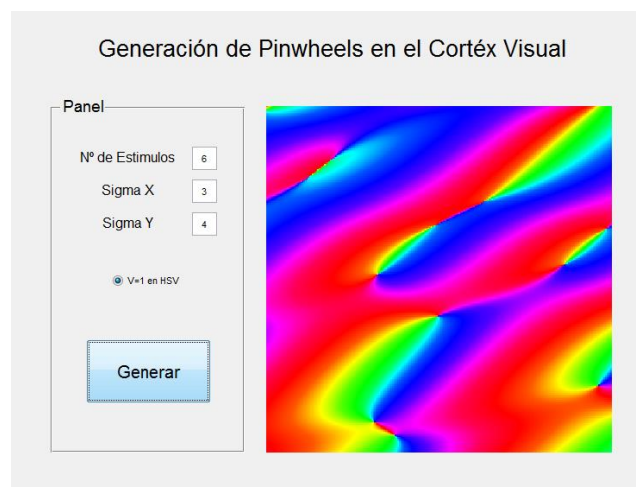


Figura 9. Resultado de la simulación con 6 estímulos

Como se puede evidenciar hay 4 Pinwheels que significarían el cruce de los estímulos, y predomina el color rojo y azul que están representando estímulos de 0 grados y 135 grados.

Características de la aplicación:

- Genera valores aleatorios partiendo de sus entradas que son:
 - Sigma X: representa el comportamiento que se desea que tenga la neurona excitatoria.
 - Sigma Y: representa el comportamiento que se desea que tenga la neurona inhibitoria.
 - Numero de estímulos: cantidad de estímulos aleatorios que se desean representar en la corteza visual del cerebro.
- No se puede controlar la orientación de los estímulos que se utilizan
- Permite identificar patrones para descifrar las características de los estímulos ingresados.

CAPITULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En el presente capítulo se destacan las principales conclusiones del trabajo realizado y las recomendaciones partiendo de los resultados obtenidos durante el proceso en el desarrollo del algoritmo.

5.1 Conclusiones

Al finalizar el trabajo enfocado a representar los experimentos de Gary Blasdel en la obtención de Pinwheels, se obtuvieron las siguientes conclusiones que van acorde al desarrollo del objetivo general y los objetivos específicos fijados en el proyecto. Dentro de las conclusiones encontradas están las siguientes:

- Respecto al objetivo general se cumple al obtener las imágenes obtenidas por los Blasdel en sus experimentos, no se realiza ningún tipo de análisis al considerarse como objetivo primordial recrear este espacio de manera computacional, aclarando que se estudia el proceso necesario para llegar a los resultados obtenidos.
- La recreación de los experimentos realizados por Gary Blasdel a partir de un determinado software se consideran un desarrollo satisfactorio, esto al observar las imágenes que resultan de la aplicación del algoritmo desarrollado. Al considerarse el experimento de Blasdel netamente la representación visual de dicha presentación de estímulos, se cumple con el objetivo establecido que es la obtención de dichos resultados.
- En el desarrollo medico hay avances como elementos electrónicos que apuntan a mejorar la calidad de vida de las personas con discapacidades visuales, y desarrollos que apunten a conocer, experimentar, simular o reemplazar elementos de esta fisiología son aunque muy limitados y controlados, elementos que abren ideas a nuevos proyectos que fortalezcan este campo. Este es el caso de este proyecto que recrea a partir de un modelo matemático los avances sobre el conocimiento de la corteza visual del cerebro y brinda elementos para futuros trabajos que profundicen sobre algún elemento que vincule estudios de la visión y su efecto en la corteza cerebral.

IBLIOGRAFIA

- Arteaga, G. & Pimienta, H. (2004). Sobre la organización columnar de la corteza cerebral. *Revista Colombiana de Psiquiatría*, XXXIII(1), 76–101. Retrieved from <http://psiquiatria.org.co/web/wp-content/uploads/2012/04/VOL-33/S/SOBRE LA ORGANIZACI%C3%93N.pdf>
- Aznar Casanova, J. A. (2011). Organización columnar de las células del cortex visual | PSICOLOGÍA DE LA PERCEPCIÓN VISUAL. Retrieved November 17, 2015, from http://www.ub.edu/pa1/node/cortex_visual#
- Hubel, D. H. (1988). Eye, brain, and vision (Scientific American Library). *New York*.
- Hubel, D. H. (2010). Eye, Brain, and Vision. Retrieved November 17, 2015, from <http://hubel.med.harvard.edu/book/b30.htm>
- Leigh, R. J. (1988). Eye, Brain and Vision. In *Neurology* (Vol. 38, pp. 667–667). <http://doi.org/10.1212/WNL.38.4.667-a>
- Veltz, R., Chossat, P., & Faugeras, O. (2015). On the Effects on Cortical Spontaneous Activity of the Symmetries of the Network of Pinwheels in Visual Area V1. *Journal of Mathematical Neuroscience*, 5(1), 23. <http://doi.org/10.1186/s13408-015-0023-8>
- BCNChile. Torsten Wiesel, Premio Nobel de Fisiología o Medicina 2014. Video tomado del canal Youtube. <https://www.youtube.com/watch?v=w4VZevAyFhc>.

ANEXOS

- Código empleado (software Matlab):

```
clear
clc
l=1
sigmaX=4;
sigmaY=4;
%Variables Auto generadas:- - - - -
- - -
w=randi([0,360],1,1);
n=randi([0,360],1,1);

w=degtorad(w)/500;% valores aleatorios para realizar un acercamiento
de la imagen que permite visualizar pinwhells
n=degtorad(n)/150;

Ran=250;
%Distribución Gausiana Normal:- - - - -
- - -
Ax=normrnd(0,sigmaX,1,1); %neurona excitadora
Ay=normrnd(0,sigmaY,1,1); %neurona inhibitoria

%Generar Matriz y f(x,y) en Cada Punto: - - - - -
- - -
matrix=zeros(Ran,Ran);
for ciclo1=1:Ran
    for ciclo2=1:Ran
        for ciclo3=1:l

matrix(ciclo1,ciclo2)=matrix(ciclo1,ciclo2)+(complex(Ax(ciclo3),Ay(cic
clo3))*exp(1i*((w(ciclo3)*(ciclo2-(Ran/2)))+(n(ciclo3)*(ciclo1-
(Ran/2))))));
            end
        end
    end

%Calculo Magnitud y Ángulo para "h", "v" y "s":- - - - -
- - -
mag=abs(matrix);
ang=angle(matrix);
h=(ang+pi)/(2*pi);
s=ones(Ran,Ran);
v=ones(Ran,Ran);

estadov = 1;
if (estadov == 0)
    v=mag/max(max(mag));
end
```

```

% Aplicar Func. Después de "hsv2rgb": - - - - -
- -
m=hsv2rgb(h,s,v);
R=m(:,:,1);
G=m(:,:,2);
B=m(:,:,3);
RR=zeros(Ran,Ran);
GG=zeros(Ran,Ran);
BB=zeros(Ran,Ran);

for ciclo1=1:Ran
    for ciclo2=1:Ran
        if(R(ciclo1,ciclo2)<=1/2)
            RR(ciclo1,ciclo2)=2/3*R(ciclo1,ciclo2);
        else
            RR(ciclo1,ciclo2)=4/3*R(ciclo1,ciclo2)-1/3;
        end
    end
end

for ciclo1=1:Ran
    for ciclo2=1:Ran
        if(G(ciclo1,ciclo2)<=1/2)
            GG(ciclo1,ciclo2)=2/3*G(ciclo1,ciclo2);
        else
            GG(ciclo1,ciclo2)=4/3*G(ciclo1,ciclo2)-1/3;
        end
    end
end

for ciclo1=1:Ran
    for ciclo2=1:Ran
        if(B(ciclo1,ciclo2)<=1/2)
            BB(ciclo1,ciclo2)=2/3*B(ciclo1,ciclo2);
        else
            BB(ciclo1,ciclo2)=4/3*B(ciclo1,ciclo2)-1/3;
        end
    end
end

M(:,:,1)=RR;
M(:,:,2)=GG;
M(:,:,3)=BB;

% Graficación:- - - - -
- - -
grafica = M;
%subplot(1,2,1)
imshow(grafica);
title('Imagen RGB')

```