

<h1>GIAR</h1>	Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional Buenos Aires Secretaría de Ciencia y Tecnología	Versión 01-01
	<h2>Seminario IA y R</h2>	12 y 13 /mayo/2010 Página 1 de 8

2 “La retina como procesador de imágenes - Hacia una retina artificial”

Leonardo Servalli
leonardoservalli@gmail.com

Resumen- En las retinas de los vertebrados se inicia la primera etapa de procesamiento de la información que es percibida en forma de visión.

Estas retinas están formadas por cinco capas de tejido celular, donde se distribuyen distintos tipos de células especializadas en diferentes funciones, con el objetivo común de ofrecer una primer capa de procesamiento de la información del entorno en el que habitan.

Evidentemente, el mecanismo de procesamiento de las retinas ha de ser muy exitoso, ya que en las retinas de las diversas especies de vertebrados existentes, estos mecanismos se mantienen con mínimas variaciones entre especies diferentes.

De esta forma, se cree que de la comprensión de los mecanismos de procesamiento de las retinas, se puede obtener un modelo muy eficiente para identificar las características y atributos mas importantes de los objetos que forman parte del entorno visual.

En una etapa posterior, se podrán utilizar los modelos realizados para la construcción de un modelo de una retina artificial completa. Además, estos modelos podrán ser utilizados como una herramienta muy importante en el procesamiento de señales visuales.

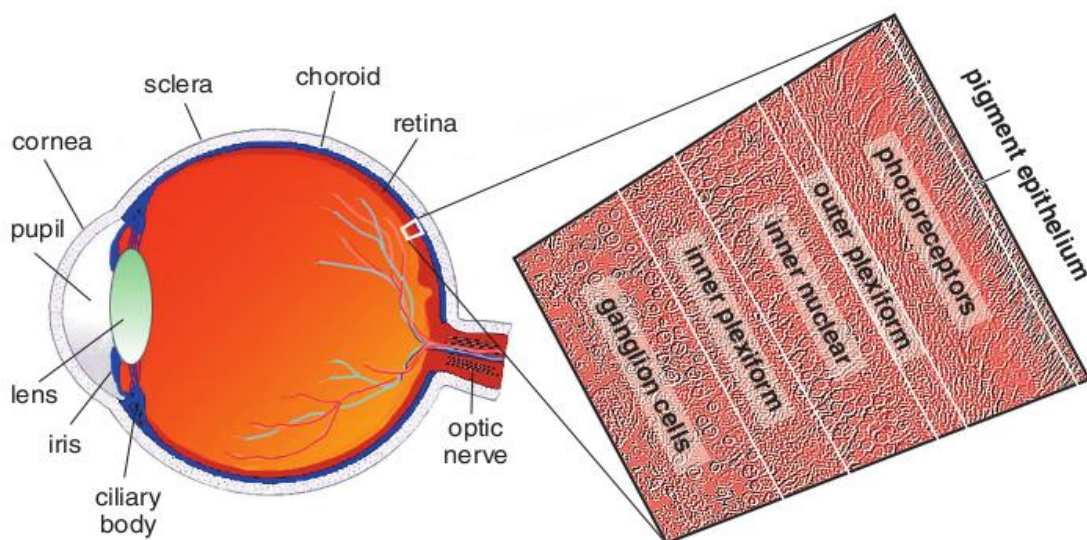


Figura 1. Diagrama del ojo humano mostrando su estructura (izq.). Una pequeña pieza de retina con su tamaño aumentado (der.) revelando sus distintas capas. [Kolb 2003 - How the retina works].

2.1 Introducción

Las retinas de los vertebrados están compuestas por cinco capas de células, en las cuales se realiza el procesamiento de las imágenes que son percibidas en forma de visión.

Cada una de estas capas de la retina, esta formada por un tipo especial de células, que tienen funciones muy especializadas en cierto tipo de procesamiento, y distribuciones sobre la superficie de la retina acordes a las funcionalidades de las distintas zonas de procesamiento de la retina.

Según su ubicación dentro de la retina, estas células son los fotorreceptores (conos y bastones, sensibles a condiciones de luz fotópicas y escotópicas respectivamente), las células horizontales, las células bipolares, las células amacrinas, y las células ganglionares.

Un grupo de estas células participa en el proceso de propagación vertical de la información, que se inicia en los fotorreceptores, y que continúa con las células bipolares y finalmente las células ganglionares, cuyos axones forman el nervio óptico que envía información al resto del sistema nervioso.

Las células horizontales, al igual que las células amacrinas están dispuestas de forma horizontal dentro de la retina, participando en un proceso de modulación horizontal. Estas células se agrupan selectivamente con un grupo de células que se encuentran en su entorno, con las cuales forman sinapsis e intercambian diferentes tipos de neurotransmisores, según el tipo específico de célula y su función.

La cantidad de interconexiones entre células de capas adyacentes de la retina aumentan considerablemente a medida que nos alejamos del área de central de la retina, llamada en algunas especies, área fóvea [1], acompañando de esta forma la pérdida de resolución visual de las zonas periféricas de la retina, y formando estructuras con funciones especializadas.

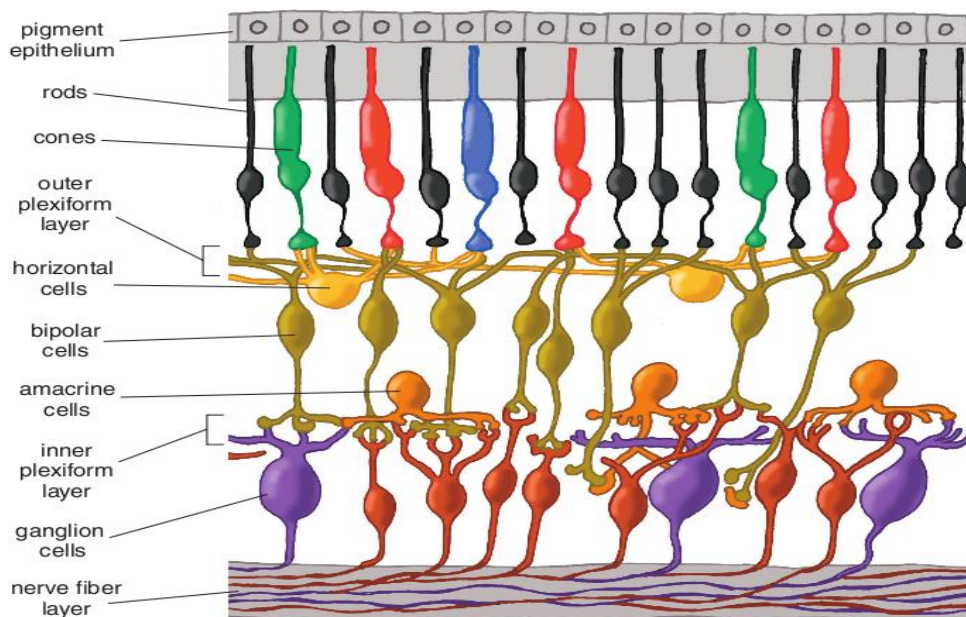


Figura 2. Células de la retina ordenadas en capas discretas. Los fotorreceptores están ubicados en la parte superior del dibujo cerca del epitelio pigmentoso. Los cuerpos de las células horizontales y las células bipolares forman la capa nuclear interna. Las células amacrinas se posicionan cercanas a las células ganglionares, próximas a la superficie de la retina. Las conexiones entre axones y dendritas forman las capas plexiformes, separando las filas de cuerpos celulares. [Kolb 2003 - How the retina works]

2.2 Estatus actual de la investigación

Actualmente la investigación se encuentra en la etapa de modelado de la primer capa celular de la retina, donde se encuentran los fotorreceptores conos y bastones, que son las células que reciben como estímulo luz de diferentes longitudes de onda, y reaccionan generando variaciones del potencial eléctrico de su membrana celular. La variación del potencial de la membrana, provoca a su vez una variación en la liberación de neurotransmisores, que son los estímulos de las capas adyacentes de la retina [2].

El modelo de fotorreceptor elegido para utilizar en la simulación, es el modelo de propósito general propuesto por J.H. van Hateren [3], ya que el mismo incorpora las características de procesamiento más importantes de los fotorreceptores como de tipo L y M (presentes en la retina fóvea).

En relación con la distribución de los fotorreceptores sobre la superficie de la retina, se utiliza como guía el trabajo realizado por C.A.Curcio [4]. La distribución de los fotorreceptores sobre la

superficie de la retina es un factor clave en el modelado de la misma, ya que comienza a mostrar las diferentes estructuras y funcionalidades presentes en diferentes zonas de la retina. Para la construcción del modelo, se optó por la utilización de MATLAB, que provee una plataforma simple y versátil para realizar los primeros prototipos de retina, y además proporciona la suficiente abstracción necesaria para no caer en detalles típicos de programación de otros lenguajes. En la figura 3, se muestra una reacción típica (simulada en MATLAB) de un fotorreceptor cono, a un estímulo que parte de un nivel de brillo inicial de 10000 Td, y se produce un incremento del mismo hasta los 20000 Td durante unos 500 ms, para luego volver al valor base.

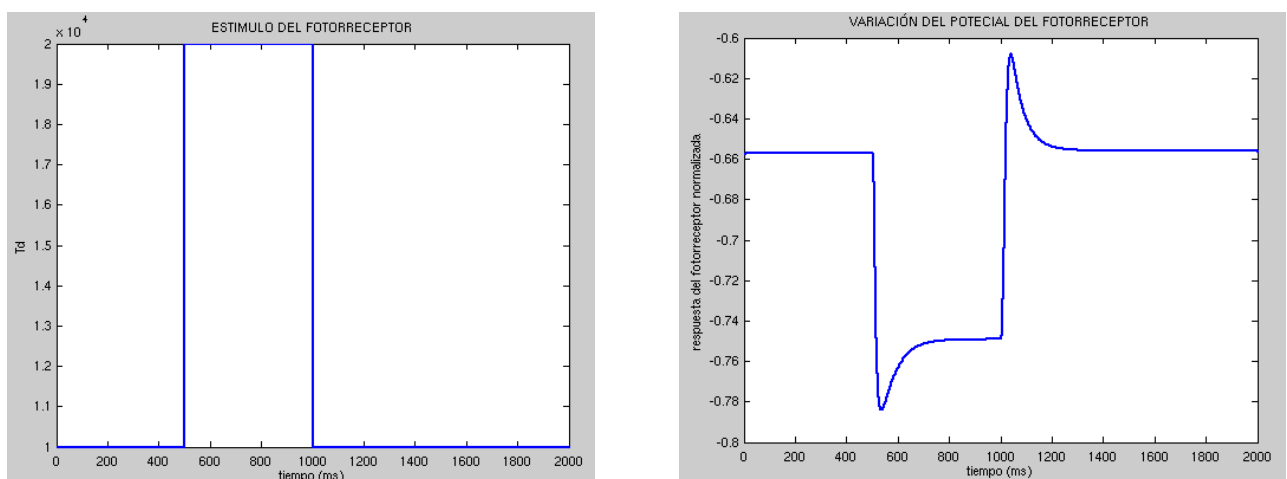


Figura 3. Reacción de fotorreceptor cono a un estímulo con nivel inicial de brillo

Una característica especial que diferencia a los fotorreceptores de la retina de los fotorreceptores electrónicos de respuesta lineal o logarítmica, es que los fotorreceptores de la retina adaptan su ganancia (individualmente y de forma completamente autónoma) en función de la intensidad del brillo del estímulo de luz que reciben como entrada.

De esta forma, los fotorreceptores disminuyen su ganancia cuando los estímulos son de un brillo muy intenso, y por el contrario, aumentan su ganancia cuando el fotorreceptor se acostumbra a bajos niveles de brillo.

Esto les permite **no saturarse** con altos niveles de brillo (dentro de ciertos límites) en su entrada, y por consiguiente **seguir propagando información** a las capas posteriores de la retina, mientras que, los sistemas digitales se saturan y dejan de transmitir información [3].

Curiosamente, este comportamiento de los fotorreceptores con ganancia dinámica se presenta también en los fotorreceptores que forman los ojos compuestos de los insectos [6].

De esta forma, es posible deducir que esta característica tiene que ser un factor clave para el procesamiento de la visión.

En la figura 4 se muestra un ejemplo [3] de un estímulo de entrada de un fotorreceptor cono, y la reacción y adaptación (variación de la ganancia) del mismo a distintos niveles de brillo:

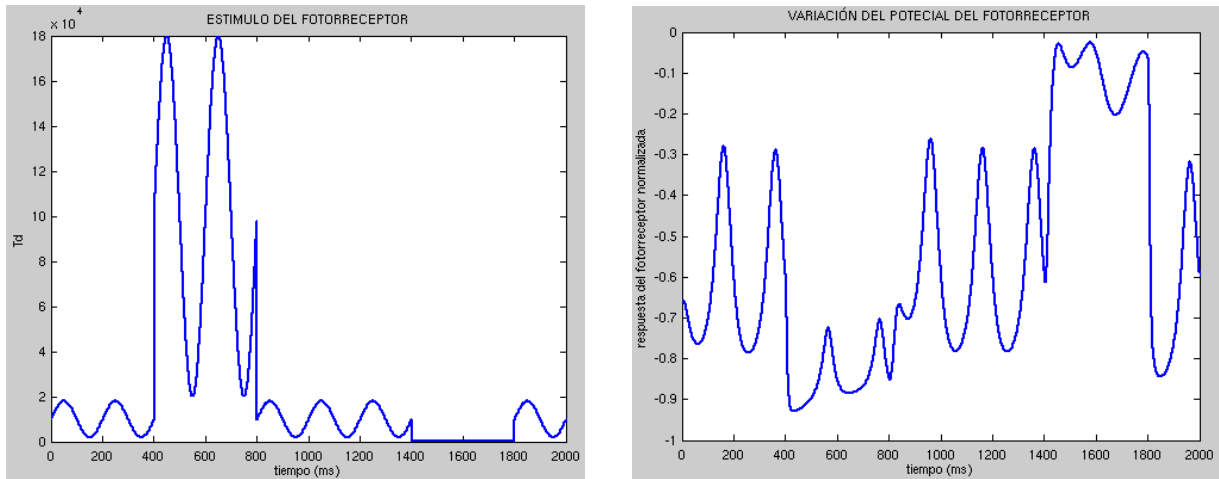


Figura 4. Estímulo y reacción de un fotorreceptor cono

Actualmente, se ha logrado simular una porción de la retina central, llamada retina fóvea. En la zona fóvea se procesa la mayor resolución visual de la retina (con una concentración de fotorreceptores cono promedio de 199000 conos /mm² [4]). En la retina fóvea, se encuentran 3 tipos diferentes de fotorreceptores cono (L - sensible a la luz roja, M – sensible a la luz verde, y S – sensible a la luz azul).

La proporción de conos sensibles a diferentes longitudes de onda, varían notablemente entre diferentes individuos. Para el ejemplo, se utiliza una proporción de 50% de conos rojos y 50% de conos verdes (no se incluyen en la simulación los conos sensibles al espectro azul) [5 P.Gouras].

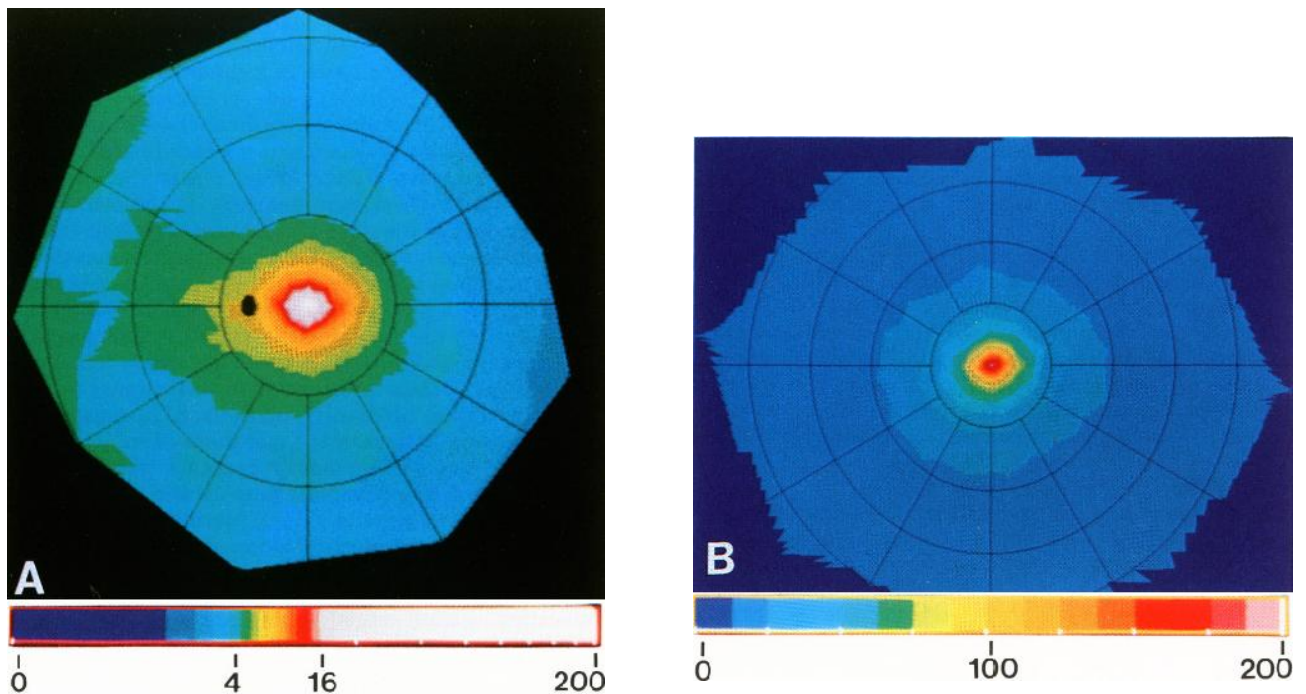


Figura 6. Densidad de fotorreceptores [miles conos/mm²] en la retina el ojo humano.

<h1>GIAR</h1>	Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional Buenos Aires Secretaría de Ciencia y Tecnología	Versión 01-01 12 y 13 / mayo/2010
	<h2>Seminario IA y R</h2>	Página 5 de 8

En la figura 6 se muestra un mapa topográfico con la densidad de fotorreceptores conos (en miles de conos / mm²) sobre la superficie de la retina completa de un humano (gráfico A), y sobre el área fóvea de la misma retina humana (gráfico B). Para mas información ver [4].

La retina fóvea simulada esta compuesta por una matriz de 640 * 480 conos verdes y rojos distribuidos de forma aleatoria. Se eligió 640 * 480 para poder utilizar como entrada o estímulo, videos e imágenes que ya vienen en ese formato (VGA).

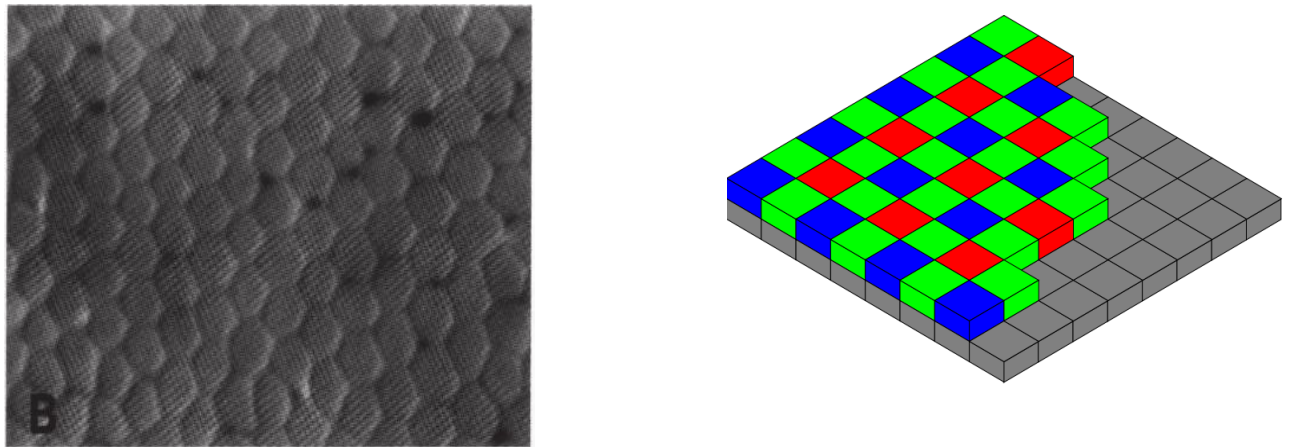


Figura 7. Izquierda: Micrografía de una porción de retina fóvea de ojo humano.
Derecha: organización en cuadrícula de un CCD.

En la retina real, los conos están agrupados en forma hexagonal, ya que la forma de los mismos tiende a ser redondeada, y se agrupan de esa forma naturalmente.

En una primera instancia y a modo de simplificar el modelo, se utilizará una organización en cuadrícula, tal como vienen organizados los pixeles de los chips de imagen (CMOS o CCD)

En la figura 7 se puede ver, a la izquierda, una microfotografía de una porción de la retina fóvea de un ojo humano, con la organización hexagonal de sus fotorreceptores cono. A la derecha, un diagrama con la organización en cuadrícula de un chip CCD.

Para poder utilizar videos como un estímulo del modelo de retina, en primera instancia es necesario recorrer todos los frames del video, y para la posición [X,Y] de cada pixel, se procede a construir un array con todos los valores de brillo que adquiere el pixel durante el video.

Luego, para poder procesar el array, es necesario introducirlo como estímulo del modelo de fotorreceptor cono. Para esto, hay que realizar una interpolación (lineal en estas primeras simulaciones) y llevar los valores de brillo muestreados desde una valor equivalente a los fps en que fue grabado el video, a otro valor igual a la base de tiempo en que opera el modelo de fotorreceptor.

En las figuras 8 a 11 se muestra una secuencia de 4 diapositivas, que representan un video (filmado por una cámara Canon EOS Revel T1i, en resolución VGA) en el que se produce un giro a la izquierda (captado en las diapositivas 2 y 3), en un tiempo aproximado de 0.7 segundos. A la derecha de la diapositiva del video, se puede apreciar la salida de la simulación de conos rojos y verdes, tomando como entrada el video interpolado:

<h1>GIAR</h1>	Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional Buenos Aires Secretaría de Ciencia y Tecnología	Versión 01-01 12 y 13 /mayo/2010
	<h2>Seminario IA y R</h2>	Página 6 de 8

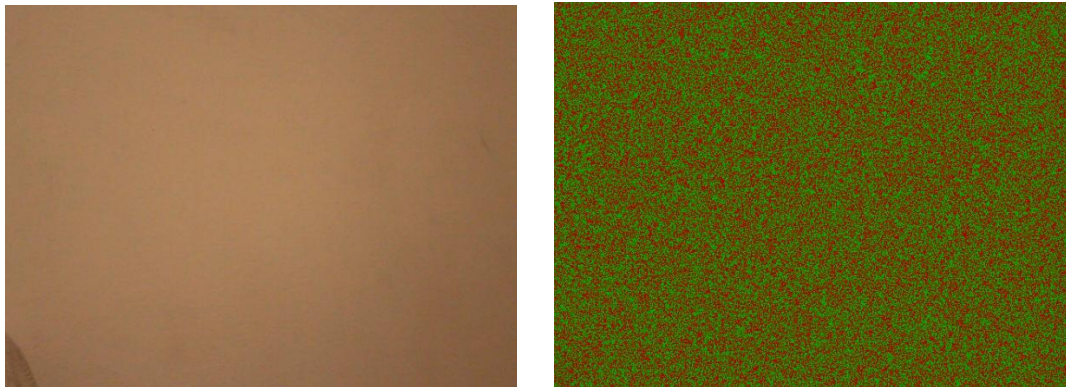


Figura 8. Diapositiva 1 (233 ms): Comienza a producirse el giro de la cámara a la izquierda

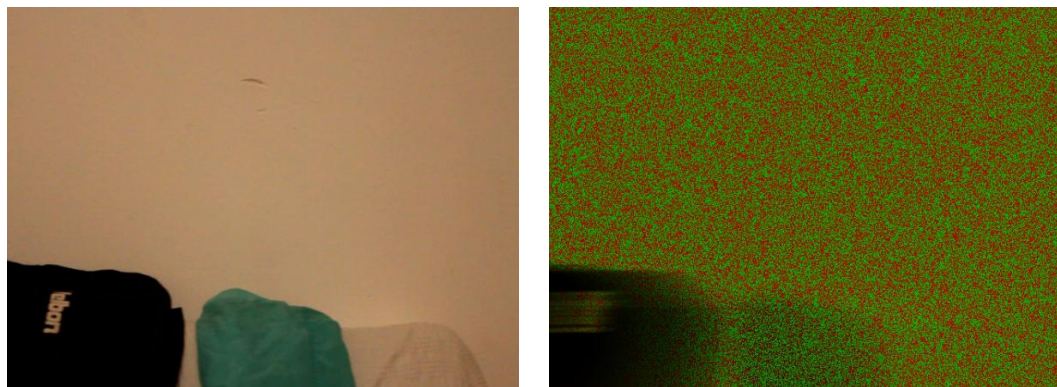


Figura 9. Diapositiva 2 (324 ms): Continúa el giro de la cámara a la izquierda.

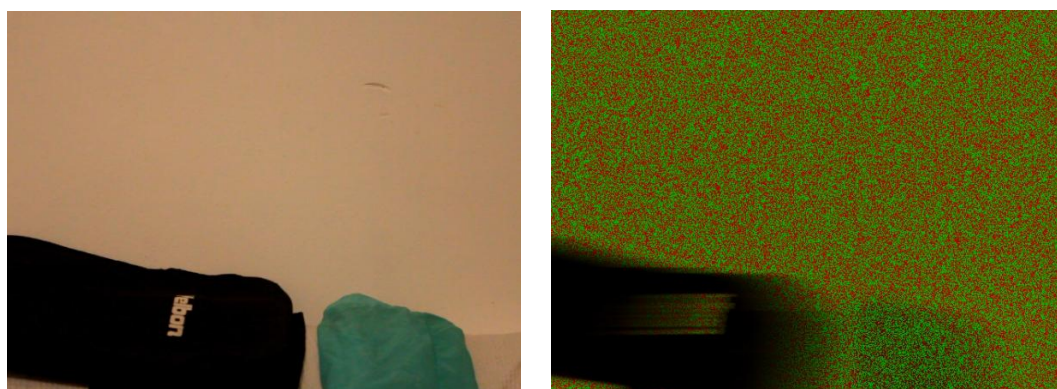


Figura 10. Diapositiva 3 (373 ms): Continúa el giro de la cámara a la izquierda.

GIAR	Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional Buenos Aires Secretaría de Ciencia y Tecnología	Versión 01-01
	Seminario IA y R	12 y 13 /mayo/2010 Página 7 de 8

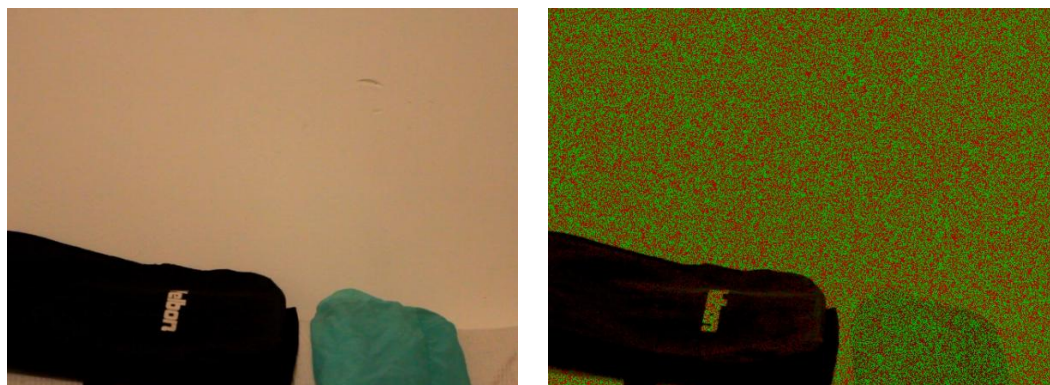


Figura 10. Diapositiva 4 (466 ms): La cámara se encuentra detenida, y el potencial de los fotorreceptores estabilizado

La forma correcta de interpretar las imágenes de la simulación, es observar el valor de brillo de cada píxel, como el valor del potencial de la membrana celular de cada fotorreceptor en dicho instante. Es decir, que los píxels mas brillantes, representan fotorreceptores hiperpolarizados, y los valores oscuros, fotorreceptores despolarizados.

De esta forma, las diapositivas se muestra la dinámica de los cambios producidos en el potencial de la membrana de cada cono, cuando el mismo es expuesto a objetos en movimiento.

2.3 Conclusiones

Como fue mencionado al comienzo del artículo, las retinas de los vertebrados se han mantenido con mínimas variaciones estructurales y funcionales en la inmensa variedad de vertebrados existentes. Principalmente, esto se debe a que el grado de optimización que poseen las retinas para el procesamiento de información visual es muy alto, y por lo tanto, esto posiblemente convierte a la retina en el procesador de imágenes mas eficiente que existe.

Con el actual grado de avance de la simulación, es posible visualizar algunos de los procesos involucrados en esta primer capa de procesamiento de la retina, por ejemplo: adaptación dinámica de ganancia, fotorreceptores adaptados a visión nocturna y visión diurna, distribuciones de fotorreceptores especializadas en diferentes funciones, etc.

Se considera que la investigación y el modelado de la retina proporcionará la oportunidad de obtener una herramienta altamente optimizada, para identificar las características e información mas relevante de los objetos que forman parte del entorno visual, y despreciar las características menos relevantes del mismo (tal y como lo hacen las diferentes especies de vertebrados que poseen retinas). Además, el modelado de la retina permitirá comprender los mecanismos involucrados en el procesamiento de la información visual, y ver desde un lugar privilegiado el procesamiento que se realiza en cada una de las capas de la misma.

2.4 Próximos pasos en la simulación

El próximo paso en la simulación de la retina, es completar la simulación de la capa de fotorreceptores agregando los fotorreceptores cono de tipo S, y los fotorreceptores bastones, con sus respectivas distribuciones sobre la superficie de la retina.

Posteriormente, se incluirá a la simulación los modelos de la segunda capa de procesamiento de la retina, compuesta de las células horizontales. Estas células intervienen modulando la información procesada por los conos (en el proceso de adaptación cromática mediante feedback

GIAR	Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional Buenos Aires Secretaría de Ciencia y Tecnología	Versión 01-01
	Seminario IA y R	12 y 13 /mayo/2010 Página 8 de 8

negativo hacia los fotorreceptores), y la forman parte de estructuras centro-borde capaces de detectar contraste lumínico y cromático.

Adicionalmente, producto del alto costo computacional de la simulación de la retina, se intentará realizar el procesamiento de las simulaciones de las capas celulares de la retina sobre GPUs (graphics processing unit), ya que las placas de video que existen hoy en día tienen una mayor capacidad para el procesamiento de operaciones de punto flotante que las actuales CPUs. Además, el procesamiento sobre GPUs está soportado por la plataforma utilizada (Matlab) en esta etapa de la investigación.

2.5 Referencias

1. Kolb 2009 - How the retina works
2. Webvision 2007 - Photoreceptors <http://webvision.med.utah.edu/photo1.html>
3. J.H. Van Hateren 2007 – Simulating human cones from mid-mesopic up to high-photopic luminances.
4. Curcio 1992 – Human photoreceptor topography.
5. Peter Gouras 2009 - Color vision (web site Webvision).
6. M. Juusola 2003 – The Rate of Information Transfer of Naturalistic Stimulation by Graded Potentials