

MODELO DE PERCEPCION DE PROFUNDIDAD POR ESTEREOPSIS BINOCULAR

Rolando Lara, Mauricio Alvarez, Sergio Cardenas y Carlos Palomino.

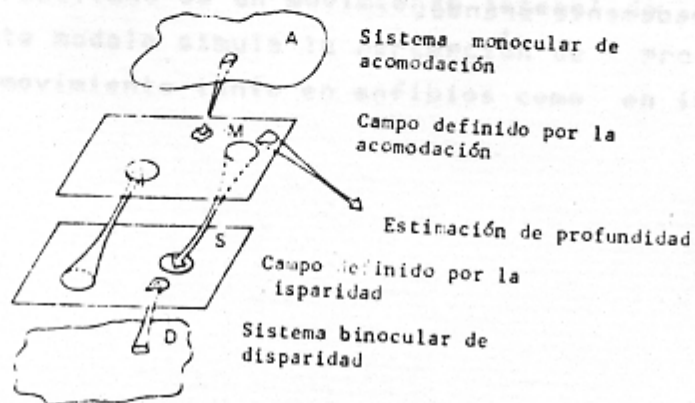
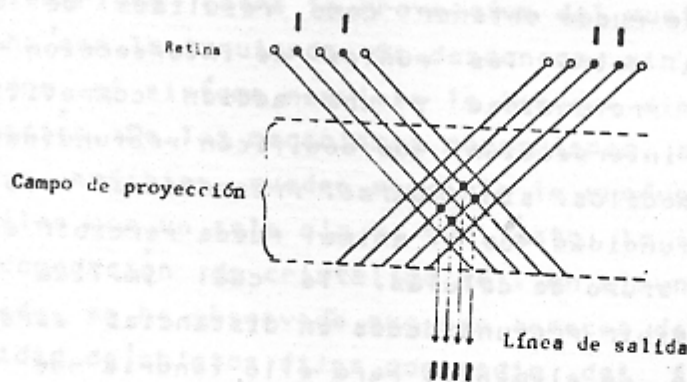
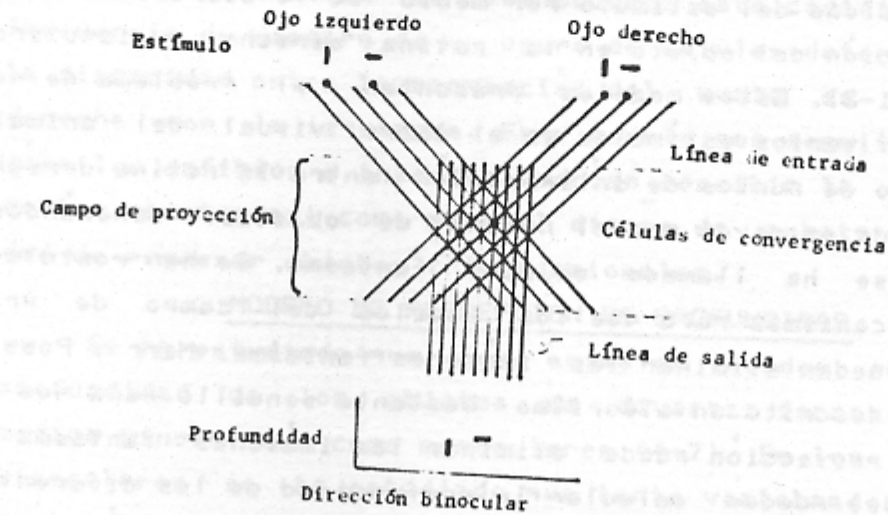
Centro de Inverstisaciones en Fisiologia Celular, UNAM.  
(Proyecto apoyado parcialmente por donativo de CONACYT  
PCCBBNA 021005)

RESUMEN

En el presente trabajo presentamos un modelo de como el sistema nervioso de ciertos animales podrian recuperar la tercera dimension por medio de la disparidad de la imagen que se proyecta en los ojos. El modelo plantea que existe una zona de interaccion entre fibras del ojo izquierdo y el derecho y que las celulas que integran esta informacion codifican la profundidad de los objetos por su frecuencia de disparo dada por la disparidad entre la imagen de un ojo con respecto al otro. Asimismo se plantea que el sistema converge hacia la representacion interna de la imagen observada por medio de procesos de cooperatividad con celulas vecinas y procesos de competencia con vias que llegan a la misma neurona. El modelo nos permite reproducir como los anfibios e insectos perciben la profundidad de los objetos tanto en condiciones normales como cuando se les ponen lentes.

Uno de los problemas que mas ha interesado a los estudiosos del sistema nervioso es el comprender como de la representacion plana del espacio que se proyecta a la retinas oculares, puede reproducirse la percepcion tridimensional del universo. Recientemente, este interes se ha proyectado hacia el diseno de robots que puedan moverse adecuadamente en un espacio especifico. Un gran numero de

Figura 1.- Modelos de proyección de percepción de profundidad por estereopsis binocular.



modelos sobre percepción de profundidad por estereopsis binocular han sido propuestos basados en la idea de que las células de las retinas derecha e izquierda interactúan entre sí en un campo de proyección donde se codifica la dirección y profundidad del estímulo por medio de la disparidad entre la proyección del objeto en la retina derecha e izquierda (Fig 1)(1-3). Estos modelos presentan el problema de que cuando hay varios estímulos en el campo visual del animal, el número de puntos de intersección entre la retina derecha e izquierda es mayor que el número de objetos, generándose lo que se ha llamado objetos fantasma. Se han postulado varios mecanismos para que los modelos del campo de proyección puedan eliminar las imágenes fantasma. Marr y Poggio (1) han descrito un algoritmo bastante sencillo para que un campo de proyección pueda eliminar las imágenes fantasma y con ello se puedan calcular la profundidad de los diferentes objetos. Estos autores postulan que la eliminación de las imágenes fantasma se puede obtener como resultado de una acción cooperativa entre los puntos de intersección que codifican la misma profundidad y una acción competitiva entre puntos de intersección que codifican profundidades distintas. Estos modelos, sin embargo, presentan el problema de que cada profundidad que el animal pueda percibir está representada por un grupo de células, lo cual implica que sólo se podrían percibir profundidades en distancias específicas y el número de elementos para ello tendría que ser extremadamente grande.

En el presente trabajo, proponemos un modelo de percepción de profundidad por estereopsis binocular que postula que la profundidad de los objetos está codificada por la frecuencia de disparo de un grupo de células determinada por la disparidad entre la proyección del punto en la retina derecha con la izquierda. Este modelo nos permite explicar cómo los anfibios e insectos podrían percibir la profundidad de los objetos así como para el diseño de robots con capacidad de procesar objetos tridimensionales.

#### MODELO DE PERCEPCION DE PROFUNDIDAD

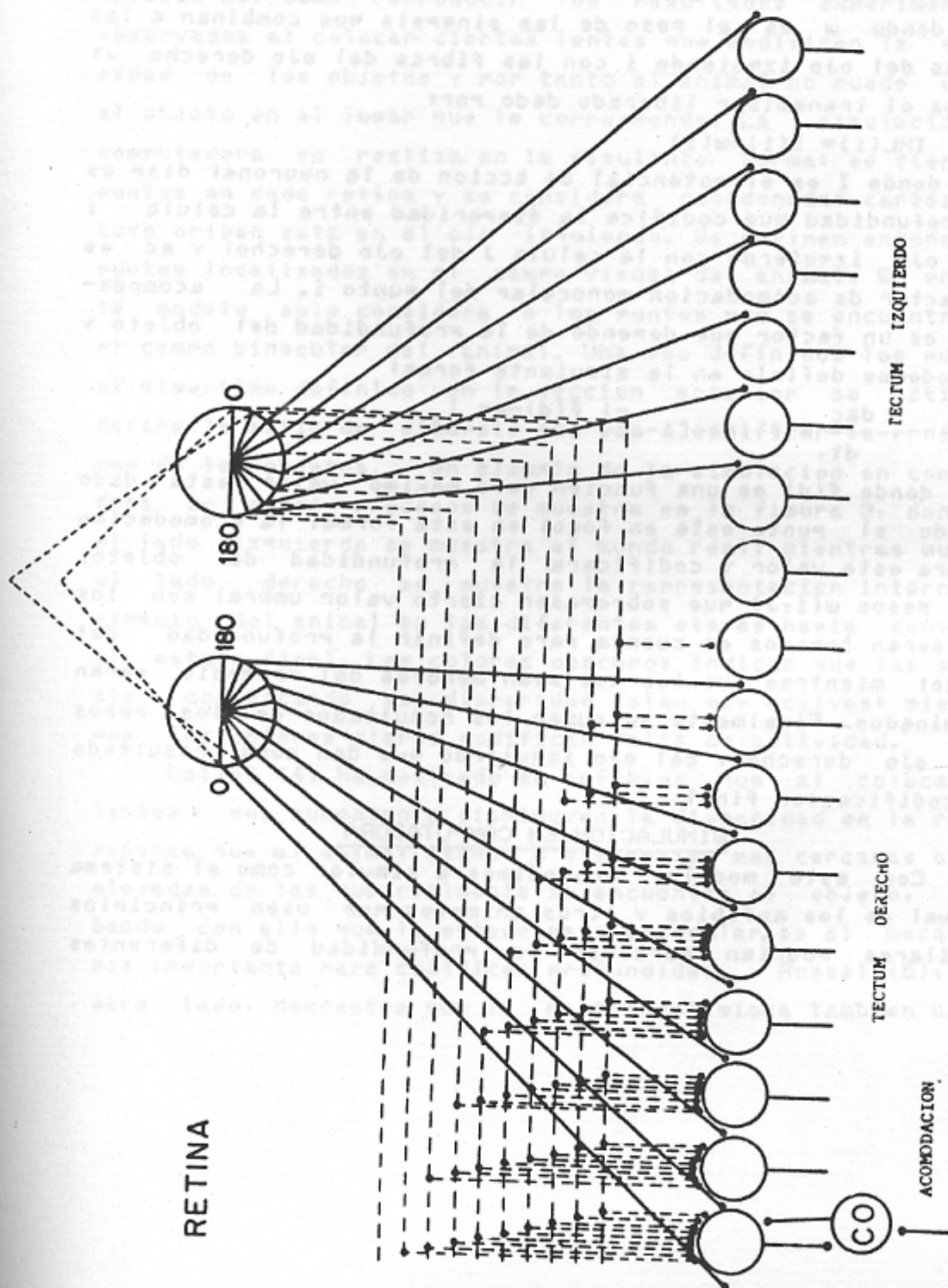
Se ha estudiado que los animales pueden percibir la profundidad de los objetos de diversas formas, tanto por medios binoculares como monoculares (4-7). De los mecanismos binoculares se ha estudiado que tanto vertebrados como invertebrados perciben la profundidad de los objetos por la disparidad entre la proyección del punto de la retina derecha con la izquierda. Se desconoce, sin embargo, cómo recupera el sistema nervioso la tercera dimensión de esta información. De los mecanismos monoculares, se ha estudiado que los anfibios pueden percibir la profundidad de objetos móviles con un solo ojo y que esto lo realiza mediante la acomodación de cristalino (6). En algunos insectos, por otro lado, se ha observado que son capaces de percibir la profundidad de objetos fijos por medio del flujo óptico en la retina como resultado de un movimiento lateral de balanceo (7). El presente modelo simula la percepción de profundidad de objetos en movimiento tanto en anfibios como en insectos.



### DEFINICION MATEMATICA

La estructura básica del modelo se puede ver en la figura 2 donde se observa que cada punto del espacio se proyectan en un punto en la retina y ese punto a su vez se proyecta al tectum del animal. Cada célula del tectum recibe a su vez la proyección de fibras del otro ojo que pueden codificar una profundidad específica. Nótese que mientras más a la derecha está el punto de proyección, un número menor de profundidades pueden codificarse y, por tanto, un número menor de fibras del otro ojo se proyectan. El postulado básico de este modelo es que la actividad conjunta de la proyección del ojo derecho con el izquierdo codifica una profundidad específica por la disparidad, o distancia espacial entre las dos. Sin embargo, es necesario que de varias fibras activas, se defina cuál de ellas es la que realmente está codificando la distancia del objeto. Para ello, nosotros hemos propuesto que además del sistema de disparidad los anfibios pueden utilizar mecanismos monoculares como la acomodación para acelerar la convergencia de la definición de la profundidad de los objetos. Asimismo, postulamos que existe un proceso de cooperatividad entre células vecinas para definir la profundidad del objeto en cuestión y que también ayuda a la convergencia del proceso así como a su fiel representación de los objetos externos. La ecuación matemática que define estos procesos se puede definir en la siguiente forma:

Figura 2- Modelo de percepción de profundidad por codificación de la respuesta neuronal.



$$\frac{dw(i,j)}{dt} = \text{TRL}(i) * \text{TRL}(i,j) - |w(i,j) - w(i+1,j)| - k_2 | \text{disp}(i,j) - ac(i) |$$

donde  $w$  es el peso de las sinapsis que combinan a las fibras del ojo izquierdo  $i$  con las fibras del ojo derecho  $j$ .  
TRL es el transmisor liberado dado por:

$$\text{TRL}(i) = I(i) * w(i)$$

donde  $I$  es el potencial de acción de la neurona;  $\text{disp}$  es la profundidad que codifica la disparidad entre la célula  $i$  del ojo izquierdo con la célula  $j$  del ojo derecho; y  $ac$  es el factor de acomodación monocular del punto  $i$ . La acomodación es un factor que depende de la profundidad del objeto y lo podemos definir en la siguiente forma:

$$\frac{dac}{dt} = f(d) * [1 - e^{-|f(d) - ac|}]$$

donde  $f(d)$  es una función cuyo máximo valor está dado cuando el punto está en foco; en esta forma, la acomodación tomará este valor y codificará la profundidad del objeto. Los pesos  $w(i,j)$  que sobrepasen cierto valor umbral son los que serán tomados en cuenta para definir la profundidad del punto; mientras que los que sean menores del promedio serán eliminados. Finalmente se suman los resultados de los pesos del ojo derecho y del ojo izquierdo que dan como resultado la codificación final.

#### SIMULACION EN COMPUTADORA

Con este modelo, procedimos a simular cómo el sistema visual de los anfibios y otros animales que usen principios similares podrían percibir la profundidad de diferentes

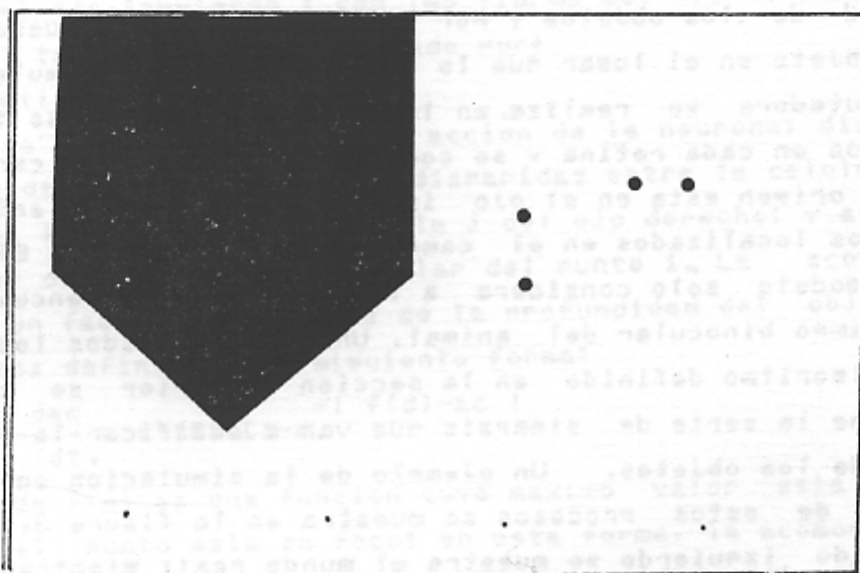
objetos así como reproducir los resultados experimentales observados al colocar ciertos lentes que modifican la disparidad de los objetos y por tanto el animal no puede ubicar al objeto en el lugar que le corresponde. La simulación en computadora se realiza en la siguiente forma: se tienen 12 puntos en cada retina y se considera coordenadas cartesianas cuyo origen esta en el ojo izquierdo. Se definen entonces  $n$  puntos localizados en el campo visual del animal. El presente modelo sólo considera a los puntos que se encuentran en el campo binocular del animal. Una vez definidos los puntos, el algoritmo definido en la sección anterior se activa y define la serie de sinapsis que van a codificar la profundidad de los objetos. Un ejemplo de la simulación en computadora de estos procesos se muestra en la figura 3, donde en el lado izquierdo se muestra el mundo real; mientras que en el lado derecho se muestra la representación interna del espacio del animal en las diferentes etapas hasta converger al estado final. Los colores oscuros indican que las sinapsis codificando esa disparidad están muy activas; mientras que los colores claros codifican falta de actividad.

Collet (4) ha mostrado en anfibios que al colocarse lentes que aumentan o disminuyen la disparidad en la retina provoca que el animal ataque a distancias mas cercanas o mas alejadas de las que realmente se encuentra el objeto, probando con ello que la estereopsis binocular es el mecanismo más importante para codificar profundidad. Rossel (5), por otro lado, demuestra que la mantis religiosa también usa la

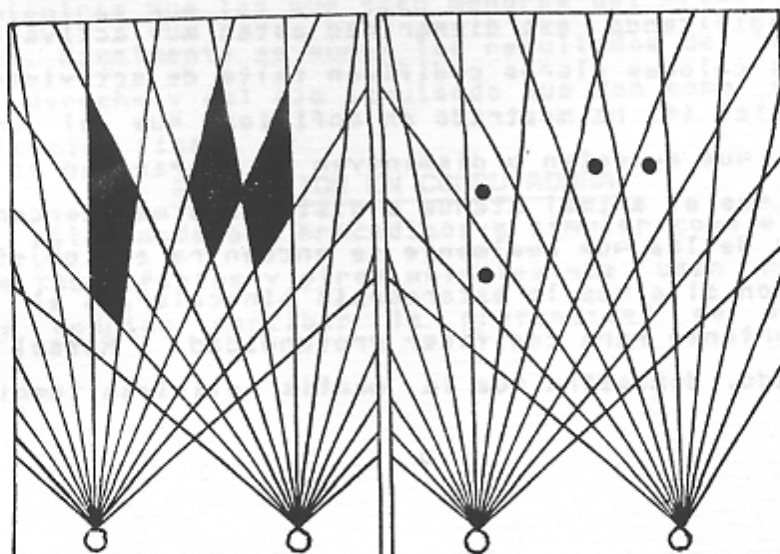




Figura 3.- Simulación en computadora del modelo de percepción de profundidad.



REPRESENTACION INTERNA DE PARES ACTIVAS      ESPACIO REAL



REPRESENTACION INTERNA FINAL

ESPACIO REAL

estereopsis binocular para definir la profundidad de los objetos en movimiento. Rossel probó esto también utilizando lentes que aumentaban o disminuían la disparidad de la imagen.

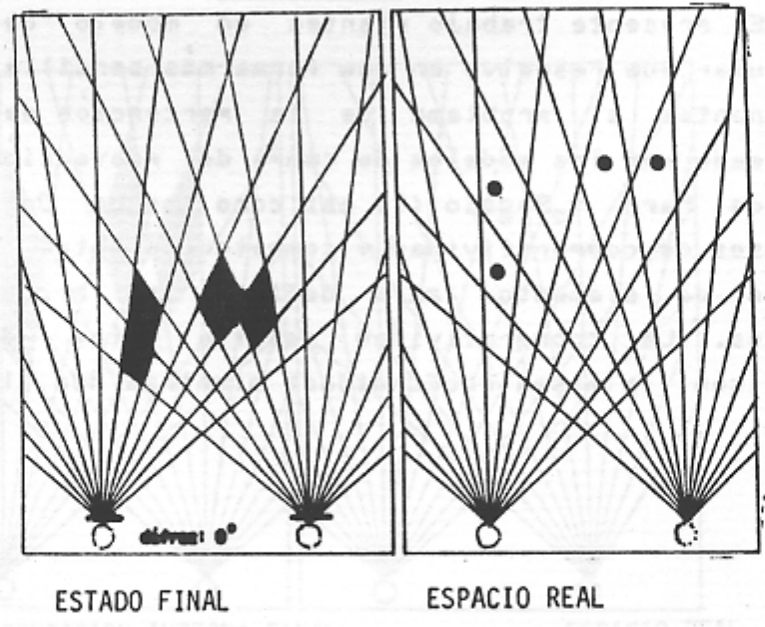
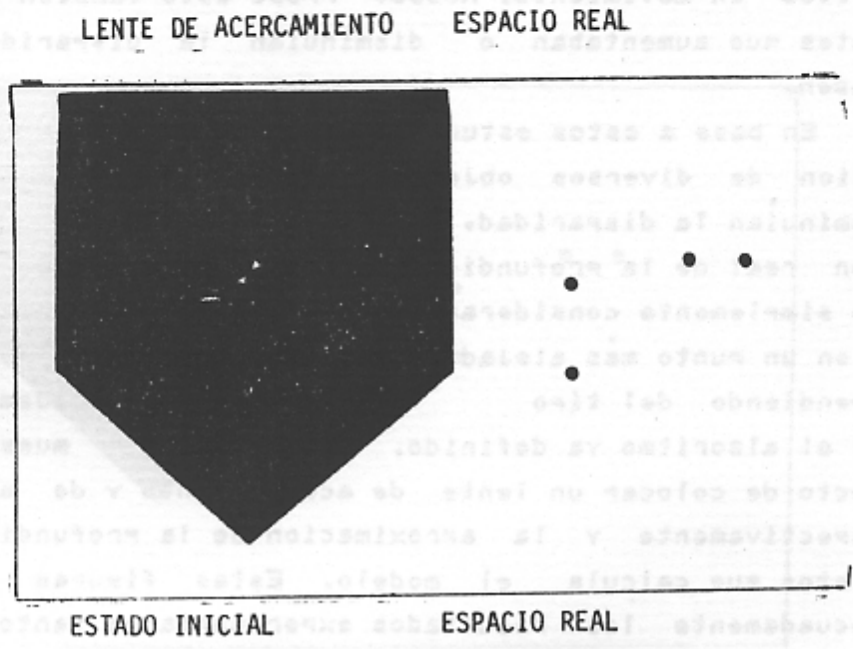
En base a estos estudios, nosotros simulamos la presentación de diversos objetos con lentes que aumentaban o disminuían la disparidad, por tanto alterando la representación real de la profundidad de los objetos. Esto lo simulamos simplemente considerando que la imagen reflejada proyecta en un punto más alejado o más cercano del que debería dependiendo del tipo del lente y procedemos a aplicar el algoritmo ya definido. La figura 4 muestra el efecto de colocar un lente de acercamiento y de alejamiento respectivamente y la aproximación de la profundidad de los objetos que calcula el modelo. Estas figuras reproducen adecuadamente los resultados experimentales tanto de Collet como los de Rossel en anfibios y en insectos.

#### DISCUSION

El presente trabajo plantea un modelo de estereopsis binocular que resuelve en una forma más sencilla y con menos componentes el problema de la percepción de profundidad planteado por los modelos de campo de proyección. Los modelos de Marr y Poggio (1) así como los de Dev (2) proponen procesos de cooperatividad y competencia entre los diversos grupos de elementos para definir la profundidad de los objetos. La cooperatividad resulta entre elementos que codifican la misma profundidad; mientras que la competencia



Figura 4.- Simulación en computadora del efecto de los lentes en la percepción binocular.



se manifiesta con elementos que estando en la misma orientación codifican diferentes profundidades. Nuestro modelo integra estos elementos pero en vez de considerar que existen diversos grupos de células que codifican diferentes profundidades, nosotros consideramos a un solo grupo de células que pueden codificar diferentes profundidades. La competencia se manifiesta en una célula que responde a dos o mas disparidades y tiene que converger a una de ellas; sin embargo, nuestro modelo, desde un punto de vista matemático, puede ser considerado como una simplificación de los modelos de campo de proyección, ya que postula un número menor de elementos para realizar sus funciones, aunque propone el mismo tipo de interacciones. Asimismo, este modelo integra información anatómica del sistema visual de los anfibios e insectos que susiere mecanismos específicos por medio de los cuales el sistema nervioso de estos animales estaría codificando la profundidad de los objetos. Esto plantea hipótesis que pueden ser estudiadas experimentalmente.

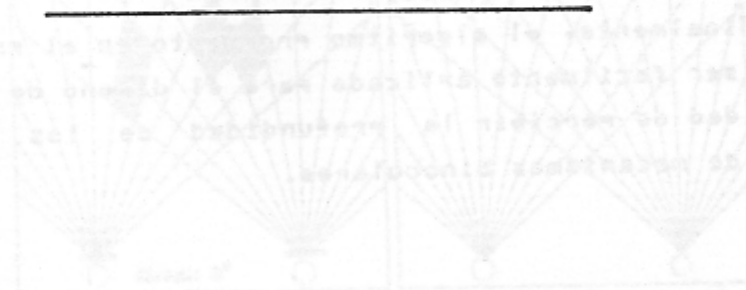
El presente modelo ha sido utilizado para integrar diversos mapas retinales que se comunican entre sí en el sistema visuomotor de anfibios (8) y nos ha permitido simular diversas conductas de estos animales en diferentes circunstancias tridimensionales.

Finalmente, el algoritmo propuesto en el presente modelo puede ser fácilmente aplicado para el diseño de máquinas con capacidad de percibir la profundidad de los objetos por medio de mecanismos binoculares.



**REFERENCIAS**

- 1.- Marr, D. Y Poggio, T. Cooperative Computation of Stereo Disparity. *Science*, 194 (1976), 283-287.
- 2.- Dev, P. Perception of depth surfaces in random-dot stereograms: a neural model. *Int. J. Man Machine Studies*, 7 (1975), 511-528.
- 3.- House, D. The frog/toad depth perception system- a cooperative/competitive model. COINS Technical reports. 82-16, 1982.
- 4.- Collet, T. Stereopsis in toads. *Nature*, 267 (1977), 349-351.
- 5.- Rossel, J. Stereopsis in an insect. *Nature*, (1984), 302, 821-822.
- 6.- Ingle, D. Spatial Vision in Anurans. En Fite, K. (ed). *The Amphibian Visual System: A multidisciplinary approach*. Academic Press, 1976, pp. 119-140.
- 7.- Wallace, R. Peering in locust. *J. Exp. Biol.* 36, 512-525 (1959).
- 8.- Lara, R., Carmona, M., Daza, F. y Cruz, A. A global model of the neural mechanisms responsible for visuomotor coordination in toads. *J. Theoret. Biol.* (1984). En prensa.



ESPACIO FINAL

ESPACIO REAL

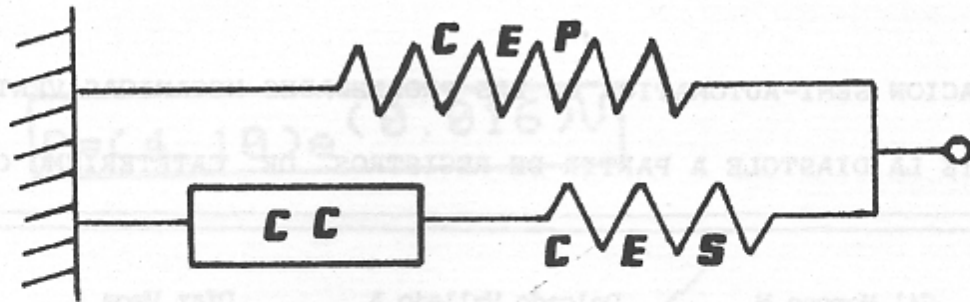


Fig. 1 - MODELO FISICO DEL MUSCULO CARDIACO

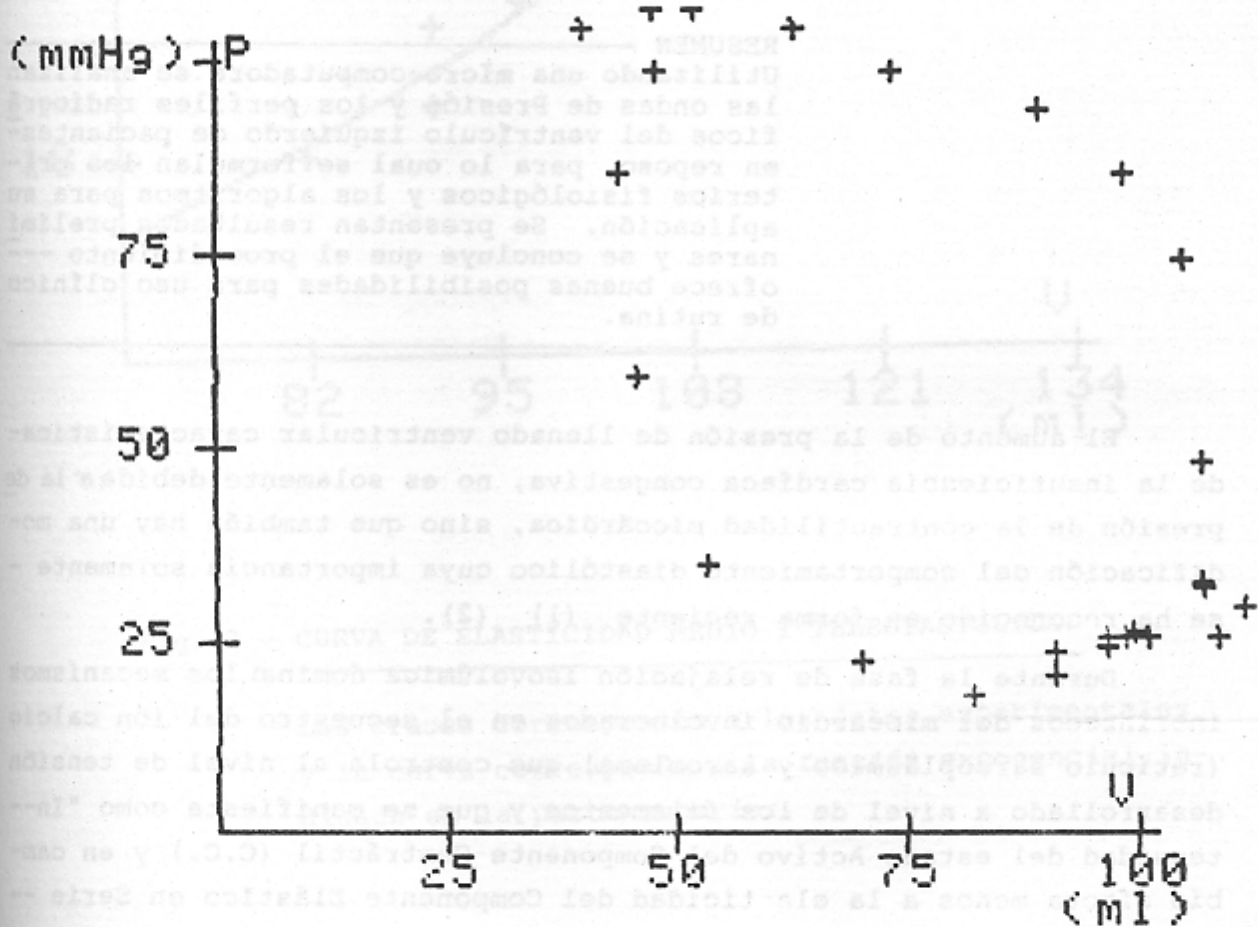


Fig. 2 - DIAGRAMA PRESION.vs.VOLUMEN CARDIACO.

Corresponde al mismo paciente de las Figs. 3, 4 y 6.