

COORDINACION VISUOMOTORA EN LA MANTIS RELIGIOSA

Rolando Lara, Arturo Franco, Enrique Salas y Vicente Alcantara
Centro de Investigaciones en Fisiología Celular, UNAM.

(Proyecto apoyado parcialmente por donativo de CONACyT
PCCBBNA 021005.)

RESUMEN

En el presente trabajo se estudia como la Mantis Religiosa interactúa con su medio ambiente en diferentes condiciones métricas de su espacio y se propone un modelo de la interacción de las estructuras de información de su sistema nervioso que nos permiten reproducir estas conductas. En particular estudiamos las diferentes tácticas que usan estos animales para saltar zanjas de diversas dimensiones y para planear la trayectoria hacia un objetivo específico dependiendo de la distancia de las diversas rutas. El modelo propuesto se simuló en computadora y los resultados se muestran por medio de un sistema de graficación.

Uno de los aspectos más importantes en el estudio del procesamiento de información que realiza el sistema nervioso de los animales para controlar su conducta es la definición clara de como los animales responden conductualmente en diversas formas dependiendo de las circunstancias específicas de su mundo tridimensional. Esto nos da idea del tipo de estímulos que son relevantes para la vida del animal así como las diversas tácticas motoras que sigue para confrontarlos adecuadamente. Asimismo, eso nos permite postular diversas estructuras de información del sistema nervioso que podrían controlar la conducta del animal en diversas situa-

COORDINACION VISUOMOTORA EN LA MANTIS RELIGIOSA

ciones y que nos permitiría postular hipótesis específicas de procesamiento de información en el sistema nervioso.

En el presente trabajo estudiamos cómo la Mantis Religiosa percibe su mundo tridimensional y las diversas pautas motoras que realiza ante diversas circunstancias. Asimismo, proponemos una teoría general de coordinación visuomotora que nos permite reproducir la conducta de estos animales así como postular el tipo de procesamiento de información que realiza su sistema nervioso para alcanzar sus diversos objetivos.

Hemos elegido a la Mantis Religiosa porque su sistema nervioso es relativamente simple, su conducta está regulada básicamente por la visión, es un animal casi estático por lo que sus pautas motoras pueden estudiarse fácilmente, y porque presenta conductas complejas relacionadas con la orientación así como procesos de aprendizaje (1-4)

MUNDO TRIDIMENSIONAL DE LA MANTIS RELIGIOSA

Para definir cómo la mantis religiosa interactúa con su mundo tridimensional, estudiaremos una conducta muy estereotipada en estos animales por medio de la cual buscan ubicarse en un lugar que les permita pasar desapercibidos tanto para animales predadores como de sus posibles presas.

Esta conducta comprende los siguientes elementos: 1) búsqueda del posible escondite-- cuya propiedad más importante es que sea un lugar alto-- por medio de una conducta de balanceo, que probablemente es una táctica de la Mantis religiosa para percibir el tipo y profundidad de los objetos

COORDINACION VISUOMOTORA EN LA MANTIS RELIGIOSA

fijos; 2) orientación hacia el escondite; 3) aproximación al escondite; en el caso de que haya un obstáculo entre el animal y el escondite, el animal puede presentar varias conductas específicas: para zanjas, dependiendo de la distancia y profundidad, el animal puede saltar, rodear o simplemente no hacer nada. El salto de la Mantis religiosa lo hemos denominado salto balístico por el hecho de que sigue la trayectoria de una bala al ser disparada y presenta en sí mismo un gran interés por las diversas tácticas que puede usar el animal ante diversas dimensiones de anchura y profundidad de la zanja para alcanzar el objetivo, dependiendo del impulso y del ángulo de inclinación del salto.

Los estudios etológicos en estos animales se complementarán con estudios teóricos sobre coordinación visuomotora que hemos desarrollado con respecto a la rana (5), que hemos llamado teoría de esquemas, que se pueden aplicar a la conducta de la Mantis religiosa. Este modelo nos servirá de guía conceptual para integrar en una sola teoría la conducta de estos animales tanto para estímulos en movimiento como para estímulos fijos.

RESULTADOS DE LOS ESTUDIOS ETOLOGICOS

BARRERAS. Al colocar al animal en una arena plana con un tubo largo en el centro, el animal siempre tiende a caminar hacia el tubo para subirlo. Si en estas condiciones colocamos algún obstáculo vertical entre el animal y el tubo, el animal siempre sube y baja el obstáculo, a pesar de que muchas

COORDINACION VISUOMOTORA EN LA MANTIS RELIGIOSA

veces sería más fácil rodearlo.

SALTO BALISTICO Si entre el animal y el objetivo se encuentra una zanja, el animal tiende a saltar hacia el objetivo. Para definir las diversas tácticas del animal en el salto balístico ante diferentes circunstancias métricas de las zanjas, estudiamos el salto balístico variando la altura y la distancia entre el borde donde se encuentra el animal y el objetivo (Fig 1). La técnica que usamos para la cuantificación se fundamenta en la segunda ley de Newton para la caída de los cuerpos libres. Si un objeto se lanza con una velocidad v y un ángulo θ , podemos descomponerla en sus componentes en el eje X y en el eje Y en la siguiente forma:

$$v_x = v \cdot \cos(\theta) \quad (1)$$

Y

$$v_y = v \cdot \sin(\theta) - g \cdot t \quad (2)$$

Cuya integración nos da:

$$x = v \cdot \cos(\theta) \cdot t \quad (3)$$

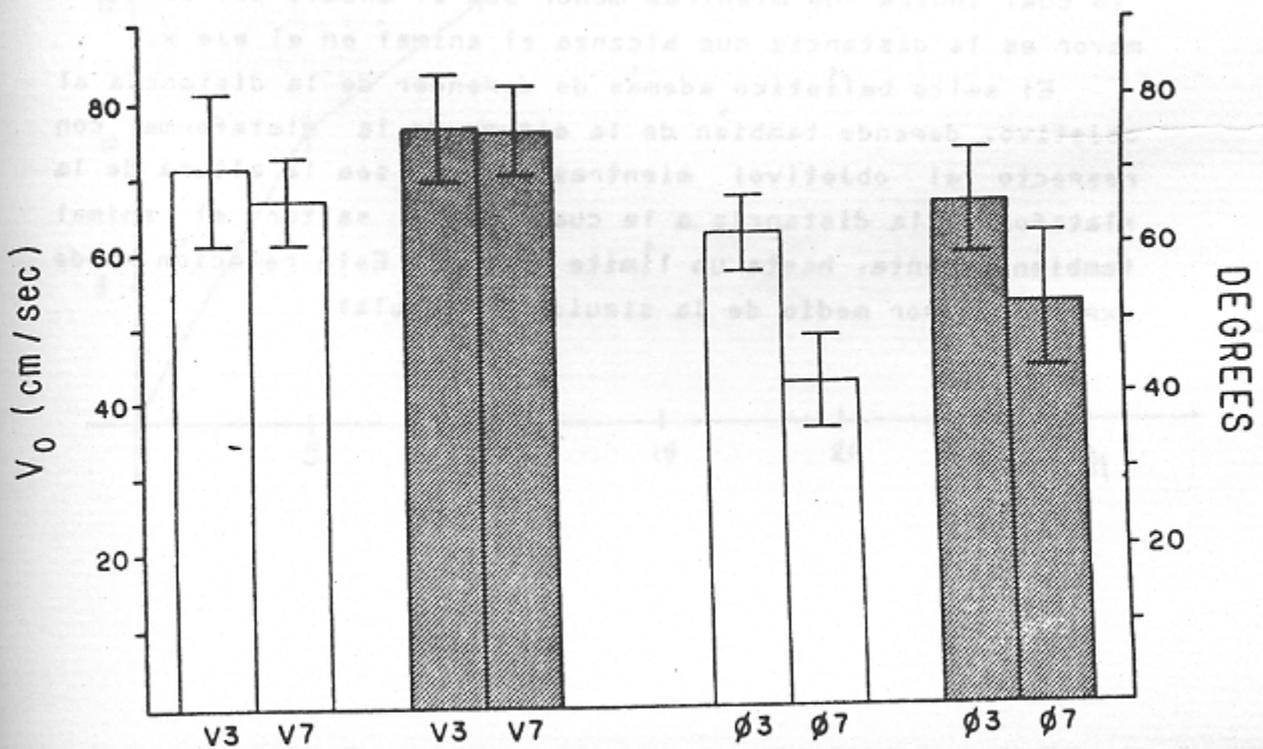
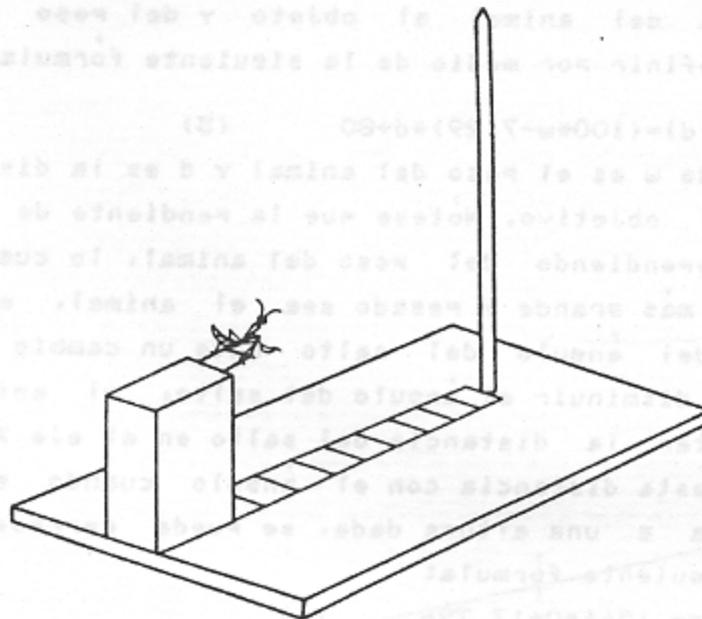
Y

$$y = v \cdot \sin(\theta) \cdot t - \frac{g \cdot t^2}{2} \quad (4)$$

Al saltar el animal procesamos la información para obtener una serie de puntos x, y de la trayectoria respectiva y usando un método de regresión no-lineal de mínimos cuadrados ajustamos la trayectoria a una curva generada por las ecuaciones definidas. Con esta curva tendremos la aproximación del impulso y el ángulo con que el animal se lanzó hacia el objetivo.

COORDINACION VISUOMOTORA EN LA MANTIS RELIGIOSA

La figura 1 muestra la arena utilizada y los cambios que ocurren en la velocidad y el ángulo del salto balístico cuando se coloca el objetivo a diferentes distancias de la



COORDINACION VISUOMOTORA EN LA MANTIS RELIGIOSA

mantis. En esta figura se puede observar que estos animales no cambian la velocidad del salto en función de la distancia del objetivo, sino que sólo disminuyen el ángulo del salto dependiendo de la distancia del objetivo. La dependencia de cómo se modifica el ángulo del salto dependiendo de la distancia del animal al objeto y del peso del animal se puede definir por medio de la siguiente fórmula:

$$O(w,d)=(100*w-7.29)*d+80 \quad (5)$$

donde w es el peso del animal y d es la distancia de la mantis al objetivo. Nótese que la pendiente de esta relación varía dependiendo del peso del animal, lo cual muestra que mientras más grande y pesado sea el animal, menor disminución del ángulo del salto ante un cambio de distancia dado. Al disminuir el ángulo del salto, el animal intenta incrementar la distancia del salto en el eje X. La variación de esta distancia con el ángulo cuando el animal se encuentra a una altura dada, se puede representar por medio de la siguiente fórmula:

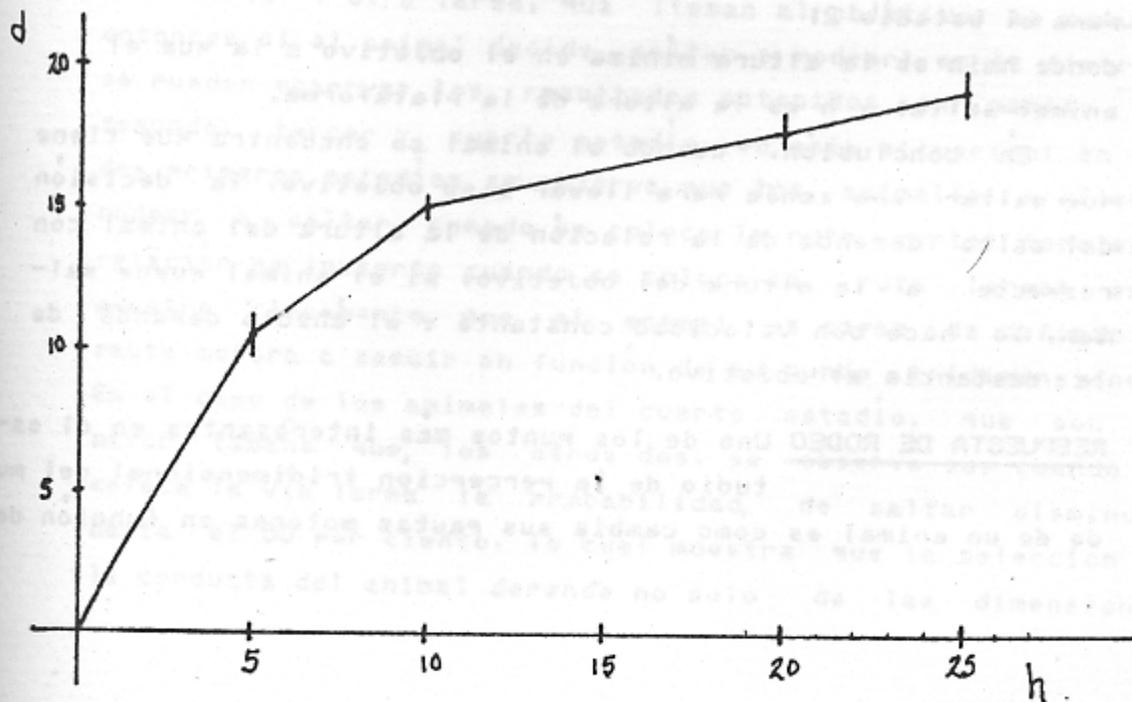
$$dx=-.1566*x+17.796 \quad (6)$$

lo cual indica que mientras menor sea el ángulo del salto, mayor es la distancia que alcanza el animal en el eje X.

El salto balístico además de depender de la distancia al objetivo, depende también de la altura de la plataforma con respecto al objetivo; mientras mayor sea la altura de la plataforma, la distancia a la cual puede saltar el animal también aumenta, hasta un límite (Fig 2). Esta relación puede expresarse por medio de la siguiente fórmula:

COORDINACION VISUOMOTORA EN LA MANTIS RELIGIOSA

FIGURA 2.- Relacion entre la altura del objetivo y el salto balistico.



COORDINACION VISUOMOTORA EN LA MANTIS RELIGIOSA

$$dsal = dmax - dmax * e^{-k*h} \quad (7)$$

donde $dsal$ es la distancia del salto; $dmax$ es la distancia máxima a la que el animal salta, que depende de su tamaño; h es la altura de la plataforma; y k es la constante de crecimiento exponencial. El valor de k para los estadios 1 y 4 son 0.25 y 0.16 respectivamente. Asimismo, el límite de altura en el objetivo al cual salta el animal se incrementa en función de la altura de la plataforma y la distancia de la plataforma al objetivo. Estos límites cambian en función del tamaño del animal. Esta relación se puede expresar por la siguiente fórmula:

$$hmin = .6486*h - 3.5429 \quad (8)$$

para el estadio 1; y

$$hmin = .36*h - .55 \quad (9)$$

para el estadio 2;

donde $hmin$ es la altura mínima en el objetivo a la que el animal salta; y h es la altura de la plataforma.

En conclusión, cuando el animal se encuentra que tiene que saltar una zanja para llegar a su objetivo, la decisión del salto depende de la relación de la altura del animal con respecto a la altura del objetivo; si el animal puede saltar, lo hace con velocidad constante y el ángulo depende de la distancia al objetivo.

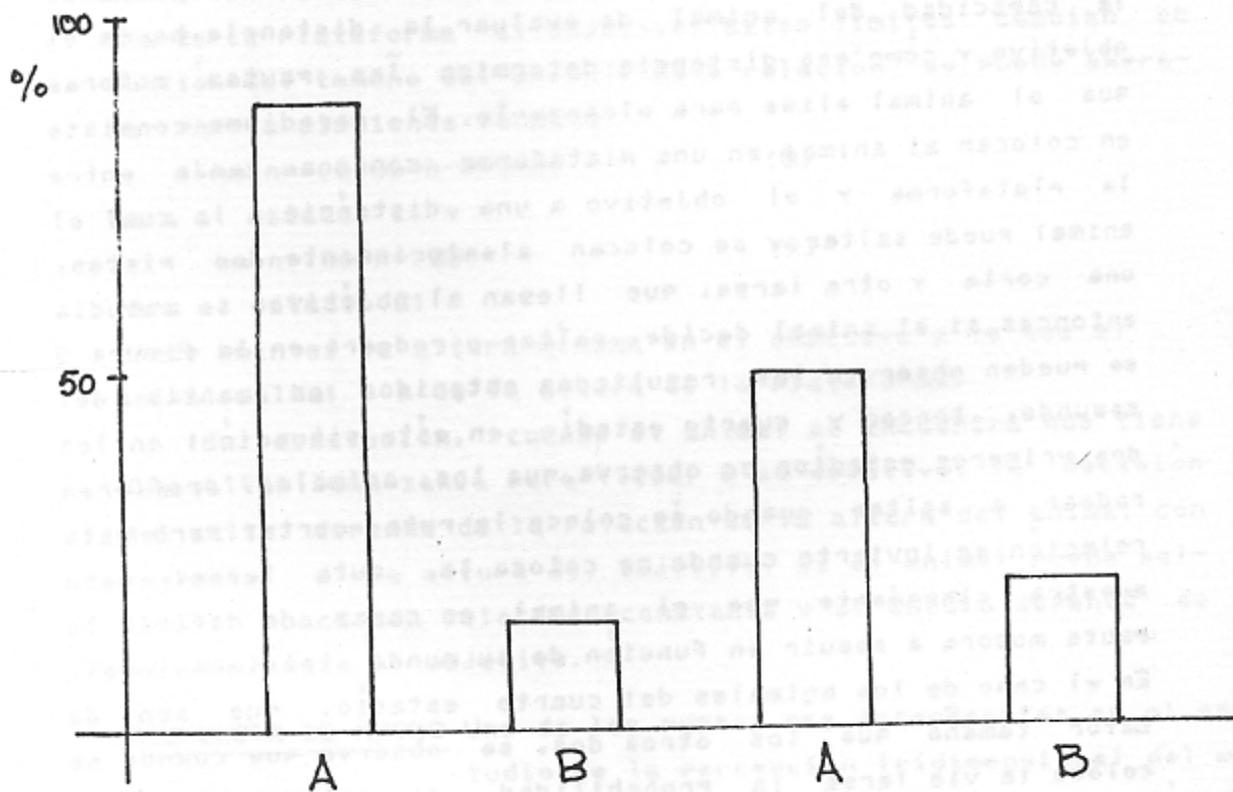
RESPUESTA DE RODEO Uno de los puntos más interesantes en el estudio de la percepción tridimensional del mundo de un animal es cómo cambia sus pautas motoras en función de

COORDINACION VISUOMOTORA EN LA MANTIS RELIGIOSA

las dimensiones métricas de su universo y cómo encuentra vías alternativas para alcanzar su objetivo. En el presente punto queremos estudiar los elementos que usa la mantis religiosa para encontrar una vía alternativa cuando se encuentra ante un obstáculo. Para ello usaremos dos arenas similares a la descrita para el salto balístico, con una zanja entre el animal y el objetivo. En el primer caso (fig 3) estudiamos la capacidad del animal de evaluar la distancia hacia el objetivo y cómo esa distancia determina las pautas motoras que el animal elige para alcanzarlo. El paradigma consiste en colocar al animal en una plataforma con una zanja entre la plataforma y el objetivo a una distancia a la cual el animal puede saltar y se colocan aleatoriamente dos pistas, una corta y otra larga, que llegan al objetivo; se estudia entonces si el animal decide saltar o rodear; en la figura 3 se pueden observar los resultados obtenidos en mantis del segundo, tercer y cuarto estadio en esta situación; en los dos primeros estadios se observa que los animales prefieren rodear a saltar cuando se coloca la ruta corta; pero esta relación se invierte cuando se coloca la ruta larga; esto muestra claramente que el animal es capaz de definir la pauta motora a seguir en función de su mundo tridimensional. En el caso de los animales del cuarto estadio, que son de mayor tamaño que los otros dos, se observó que cuando se coloca la vía larga la probabilidad de saltar disminuye hasta el 50 por ciento, lo cual muestra que la selección de la conducta del animal depende no solo de las dimensiones

COORDINACION VISUOMOTORA EN LA MANTIS RELIGIOSA

Figura 3.- Respuesta de rodeo o salto de la mantis religiosa.



COORDINACION VISUOMOTORA EN LA MANTIS RELIGIOSA

externas de los objetos, sino de la relación de estas dimensiones con la del cuerpo del animal. Tomando en consideración los resultados obtenidos podríamos aproximar la probabilidad de que el animal salte en una situación específica por medio de la siguiente fórmula:

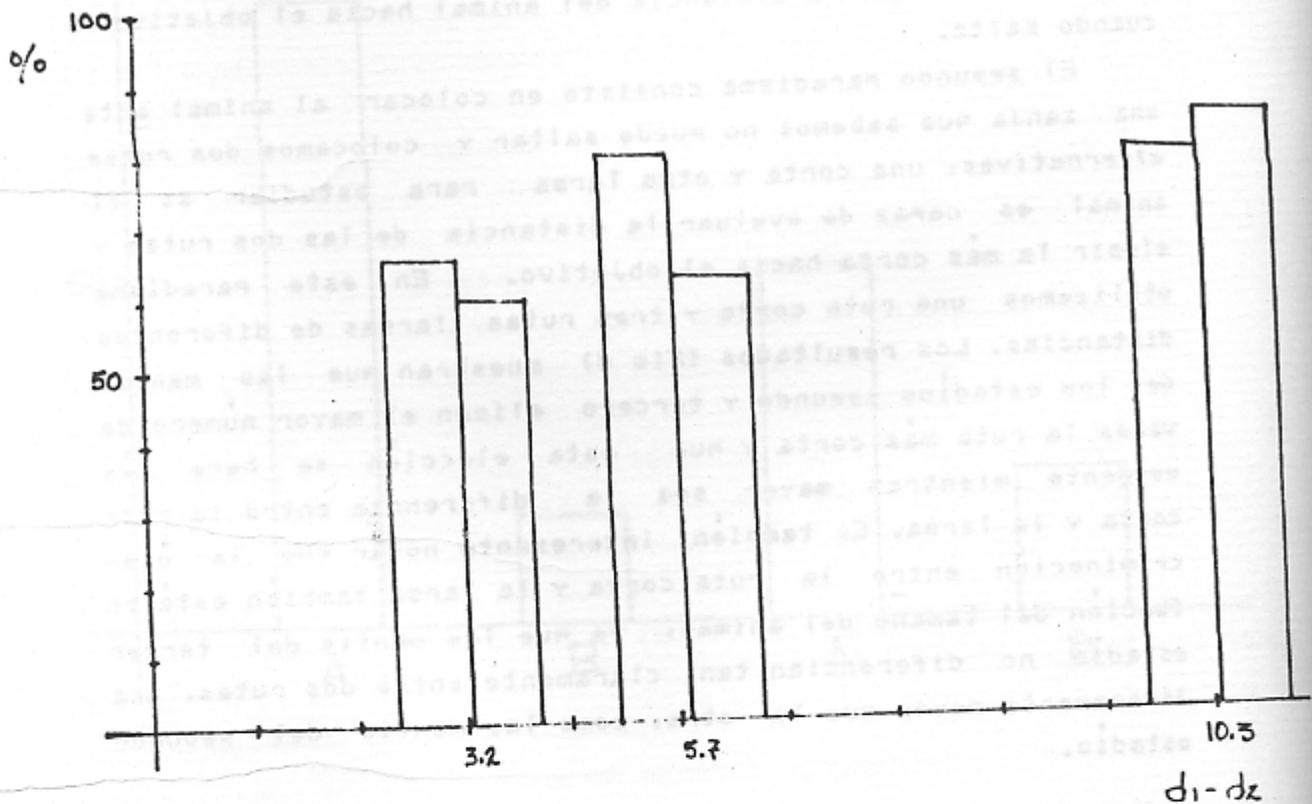
$$P_s = -5.32 \cdot t + 18.22 \cdot (d_r - d_s) \quad (9)$$

donde P_s es la probabilidad de que el animal salte; t es el tamaño del animal; d_r es la distancia hacia el objetivo por rodeo y d_s es la distancia del animal hacia el objetivo cuando salta.

El segundo paradigma consiste en colocar al animal ante una zanja que sabemos no puede saltar y colocamos dos rutas alternativas, una corta y otra larga para estudiar si el animal es capaz de evaluar la distancia de las dos rutas y elegir la más corta hacia el objetivo. En este paradigma utilizamos una ruta corta y tres rutas largas de diferentes distancias. Los resultados (Fig 4) muestran que las mantis de los estadios segundo y tercero eligen el mayor número de veces la ruta más corta y que esta elección se hace más evidente mientras mayor sea la diferencia entre la ruta corta y la larga. Es también interesante notar que la discriminación entre la ruta corta y la larga también está en función del tamaño del animal, ya que las mantis del tercer estadio no diferencian tan claramente entre dos rutas, una ligeramente mayor que la otra, como las mantis del segundo estadio.

COORDINACION VISUOMOTORA EN LA MANTIS RELIGIOSA

Figura 4. Respuesta de rodeo de la Mantis Religiosa.



COORDINACION VISUOMOTORA EN LA MANTIS RELIGIOSA

MODELO COMPUTACIONAL DE LA COORDINACION VISUOMOTORA EN LA MANTIS RELIGIOSA

En esta sección aplicaremos la teoría de esquemas (5) para intentar reproducir toda la complejidad de conductas de las mantis religiosas que hemos estudiado e intentar postular el procesamiento de información que debe realizar el sistema nervioso de estos animales en estas circunstancias. La teoría de esquemas propone que el sistema nervioso de los animales está organizado por estructuras de información que, siguiendo a Piaget (6), denominamos esquemas, que permiten al animal definir la pauta motora adecuada para alcanzar un objetivo dado.

La teoría de esquemas aplicada al sistema visuomotor de la mantis religiosa plantea los siguientes postulados:

- 1.- Un esquema es una estructura de información del sistema nervioso que relaciona un conjunto de estímulos sensoriales con una secuencia de respuestas motoras con el propósito de alcanzar un objetivo o estado meta.
- 2.- El sistema nervioso del animal tiene un conjunto de esquemas principales que definen las metas a alcanzar, tales como el comer una presa, esconderse de un predador, etc. y pueden hacer uso de otros esquemas, cada uno con su propia submeta, para alcanzar el estado final.
- 3.- Un esquema para ser activado tiene que competir con otros esquemas para controlar la conducta del animal; esta competencia puede ocurrir en todos los niveles. En esta forma, además de la interacción jerárquica entre esquemas, postulamos una relación heterárquica.

COORDINACION VISUOMOTORA EN LA MANTIS RELIGIOSA

4.- Un esquema está constituido por los siguientes elementos:

a) Esquemas perceptuales: esquemas que reconocen estímulos específicos significativos para la vida del animal, tales como presas, predadores, escondites, etc. El esquema perceptual también adquiere información relevante (métrica) de los parámetros del mundo externo, como la distancia a la presa, la profundidad de una zanja, etc.

b) Esquemas motores: sistemas de control de conductas sencillas del animal, como caminar, saltar, etc.

c) Estado meta: estado del animal hacia el cual el esquema se dirige, tal como comer una presa, huir de un predador, etc.

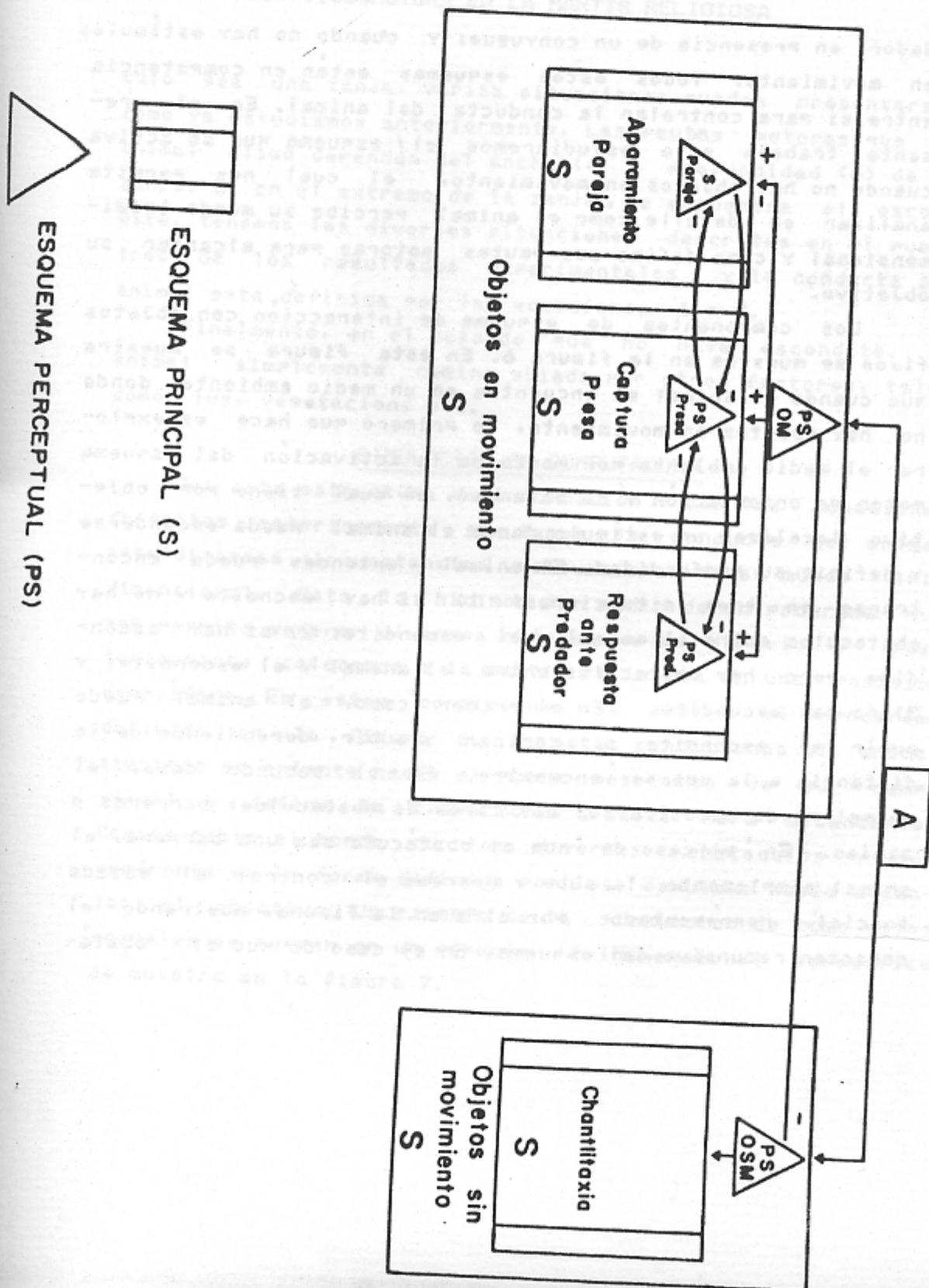
5.- Un esquema tiene un programa que coordina a los diferentes elementos del esquema, como ligar acciones motoras, acciones motoras con procesos perceptuales, o llamar a otros esquemas.

Con estos elementos procederemos a ilustrar como esta teoría nos permite explicar la conducta visuomotora de la mantis religiosa, así como postular el tipo de procesamiento de información que realiza su sistema nervioso para ello.

ESQUEMA CONDUCTUAL DE LA MANTIS RELIGIOSA

El esquema global de la conducta de la mantis religiosa se muestra en la figura 5, donde se puede observar los esquemas principales que se activan dependiendo del tipo de estímulo que se encuentre en el medio ambiente de animal. En este caso, hemos considerado básicamente 4 esquemas principales: en presencia de una presa; en presencia de un pre-

Figura 5.- Esquemas principales de la Mantis Religiosa



COORDINACION VISUOMOTORA EN LA MANTIS RELIGIOSA

dadori en presencia de un conyusues y cuando no hay estímulos en movimiento. Todos estos esquemas están en competencia entre sí para controlar la conducta del animal. En el presente trabajo sólo estudiaremos el esquema que se activa cuando no hay objetos en movimiento, el cual nos permite analizar en detalle cómo el animal percibe su mundo tridimensional y como define sus pautas motoras para alcanzar su objetivo.

Los componentes de esquema de interacción con objetos fijos se muestra en la figura 6. En esta figura se muestra que cuando el animal se encuentra en un medio ambiente donde no hay objetos en movimiento, lo primero que hace es explorar el medio ambiente por medio de la activación del esquema motor de orientación y de balanceo, el cual tiene por objetivo localizar un estímulo donde el animal pueda esconderse y definir su profundidad. El animal entonces puede encontrarse en tres situaciones: 1) si hay escondite y no hay obstáculos entre el animal y el escondite; 2) si hay escondite pero hay obstáculos entre el animal y el escondite; y 3) no hay escondite. En el primer caso, el animal puede subir al escondite o caminar y subir, dependiendo de la distancia a la que se encuentre. En el segundo caso, el animal puede encontrarse dos tipos de obstáculos: barreras o zanjas. En el caso de que el obstáculo sea una barrera, el animal simplemente la sube y regresa el control al estado inicial, representado por alfa en la figura, mostrando el carácter recursivo del esquema. En el caso de que el obstá-



COORDINACION VISUOMOTORA EN LA MANTIS RELIGIOSA

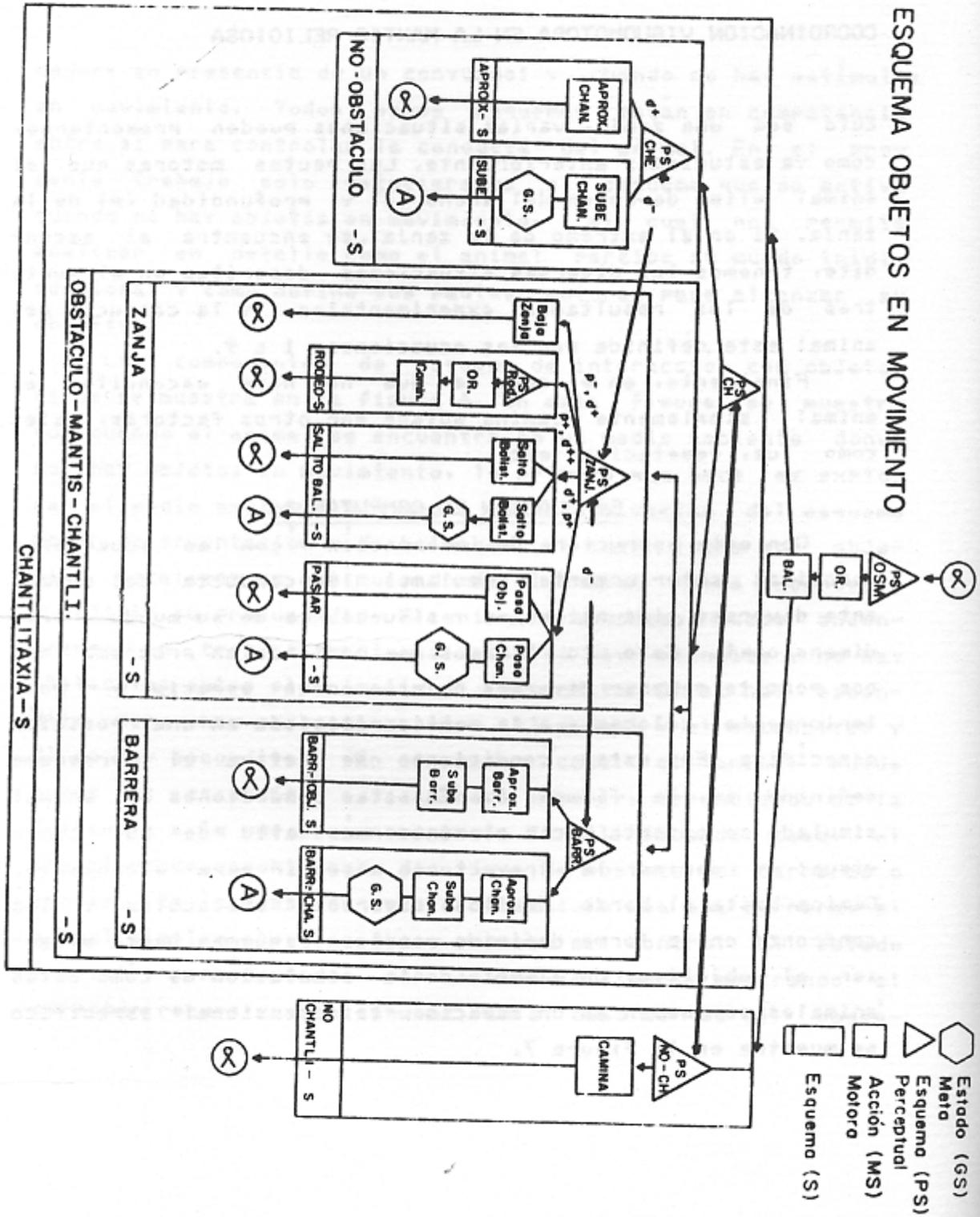
culo sea una zanja, varias situaciones pueden presentarse, como ya estudiamos anteriormente. Las pautas motoras que el animal elise dependen del ancho (d) y profundidad (p) de la zanja. Si en el extremo de la zanja se encuentra el escondite, tenemos las diversas situaciones descritas en el punto tres de los resultados experimentales y la conducta del animal esta definida por las ecuaciones 1 a 9.

Finalmente, en el caso de que no haya escondite, el animal simplemente camina guiada por otros factores, tales como luz, vegetacion, etc.

SIMULACION EN COMPUTADORA

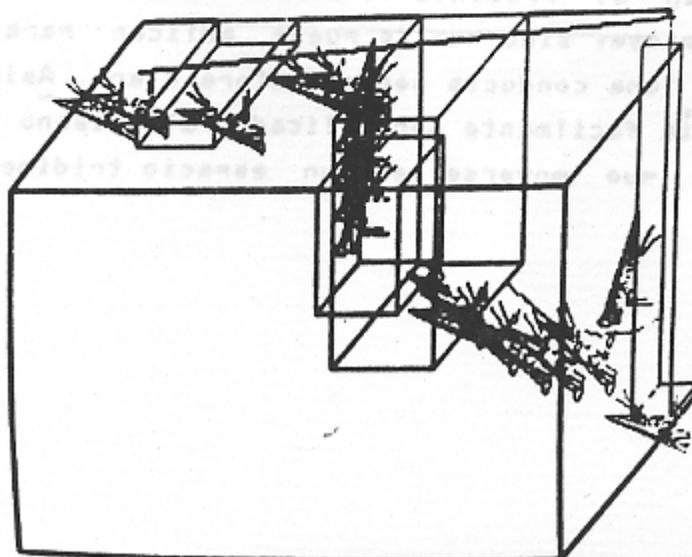
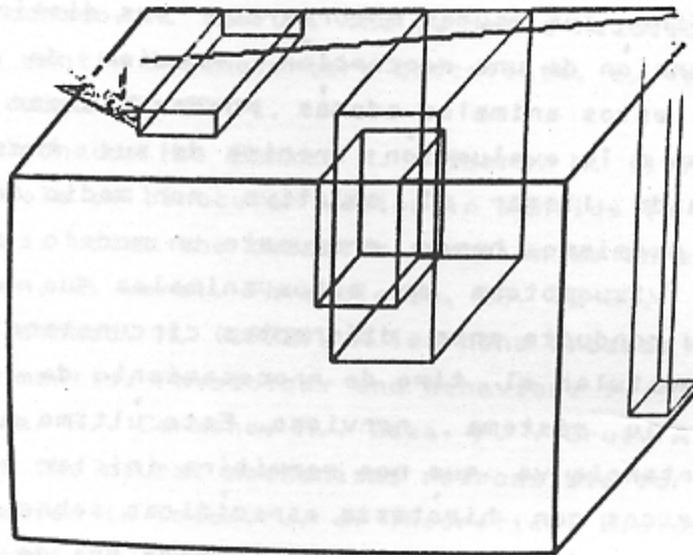
Con esta estructura de información y con las ecuaciones descritas anteriormente simulamos la conducta del animal ante diversas circunstancias y situaciones de su mundo tridimensional. Esto lo hicimos por medio de un programa que nos permite generar diversos objetos en un espacio y posteriormente colocamos a la mantis religiosa en una posición específica. En estas condiciones se activa el programa definido en la figura 6. En estas condiciones el animal simulado se orienta hacia el punto más alto de su campo visual y define la trayectoria a seguir para alcanzarlo. Camina hasta el borde de los diversos obstáculos y los confronta en la forma definida por los esquemas hasta alcanzar el objetivo. Un ejemplo de la simulación de cómo estos animales se mueven en un espacio tridimensional específico se muestra en la figura 7.

Figura 6.- Esquema de interacción con objetos fijos.



COORDINACION VISUOMOTORA EN LA MANTIS RELIGIOSA

Figura 7.- Simulacion en computadora de la respuesta de la Mantis Religiosa ante una circunstancia especifica de su mundo tridimensional.



COORDINACION VISUOMOTORA EN LA MANTIS RELIGIOSA

DISCUSION

En el presente trabajo hemos estudiado cómo la mantis religiosa interactúa con su medio ambiente en función de los tipos y las dimensiones de los estímulos que están presentes en su campo visual, las condiciones métricas de los estímulos en función de su cuerpo y los objetivos que desencadenan. Este trabajo claramente muestra que estos animales definen sus pautas motoras con sus distintas modalidades en función de una percepción precisa de sus tres dimensiones; estos animales además pueden planear la ruta a seguir en base a la evaluación precisa de sus tres dimensiones buscando llegar al objetivo por medio de tácticas específicas. Asimismo, hemos propuesto un modelo global de coordinación visuomotora en estos animales que nos permite reproducir su conducta ante diferentes circunstancias y que nos permite postular el tipo de procesamiento de información que realiza su sistema nervioso. Este último punto es de extrema importancia ya que nos permitiría iniciar los estudios fisiológicos con hipótesis específicas sobre el tipo de respuestas que debemos encontrar en cada una de estas circunstancias.

Es importante añadir también que la teoría de esquemas propuesta en el presente trabajo no es exclusiva para la mantis religiosa, sino que se puede aplicar para cualquier animal con una conducta sensorimotora clara. Asimismo, esta teoría podría fácilmente ser aplicada al diseño de robots que tienen que moverse en un espacio tridimensional con

20

COORDINACION VISUOMOTORA EN LA MANTIS RELIGIOSA

diversos objetos y donde tienen que alcanzar ciertos objetivos.

REFERENCIAS

- 1.- Roeder, K.D. (1967). Nerve Cells and Insect Behavior. Harvard University Press, Cambridge Mass.
- 2.- Maldonado, H. (1970). The deimatic reaction in the praying mantis *Stasmodoptera biocellata*. Z. Vers. Physiologie. 68, 60-71.
- 3.- Maldonado, H., Benko, M. y Isern, M. (1970). Study of the role of binocular vision in mantids to estimate long distances, using the deimatic reaction as an experimental situation. Z. Versl. Physiologie. 68, 72-83.
- 4.- Maldonado, H. (1972). A learning process in the praying mantis. Physiology and Behavior. 9, 434-445.
- 5.- Lara, R., Carmona, M., Daza, F. y Cruz, A. (1984) A global model of the neural mechanisms responsible for visuomotor coordination in toads. J. of Theoretical Biology. En prensa.
- 6.- Piaget, J. (1975). Introduccion a la epistemologia genetica. Paidos, Argentina.