

Bloqueo espacial

M^a Teresa Rodrigo i Caldach

ADVERTIMENT. La consulta d'aquesta tesi queda condicionada a l'acceptació de les següents condicions d'ús: La difusió d'aquesta tesi per mitjà del servei TDX (www.tesisenxarxa.net) ha estat autoritzada pels titulars dels drets de propietat intel·lectual únicament per a usos privats emmarcats en activitats d'investigació i docència. No s'autoritza la seva reproducció amb finalitats de lucre ni la seva difusió i posada a disposició des d'un lloc aliè al servei TDX. No s'autoritza la presentació del seu contingut en una finestra o marc aliè a TDX (framing). Aquesta reserva de drets afecta tant al resum de presentació de la tesi com als seus continguts. En la utilització o cita de parts de la tesi és obligat indicar el nom de la persona autora.

ADVERTENCIA. La consulta de esta tesis queda condicionada a la aceptación de las siguientes condiciones de uso: La difusión de esta tesis por medio del servicio TDR (www.tesisenred.net) ha sido autorizada por los titulares de los derechos de propiedad intelectual únicamente para usos privados enmarcados en actividades de investigación y docencia. No se autoriza su reproducción con finalidades de lucro ni su difusión y puesta a disposición desde un sitio ajeno al servicio TDR. No se autoriza la presentación de su contenido en una ventana o marco ajeno a TDR (framing). Esta reserva de derechos afecta tanto al resumen de presentación de la tesis como a sus contenidos. En la utilización o cita de partes de la tesis es obligado indicar el nombre de la persona autora.

WARNING. On having consulted this thesis you're accepting the following use conditions: Spreading this thesis by the TDX (www.tesisenxarxa.net) service has been authorized by the titular of the intellectual property rights only for private uses placed in investigation and teaching activities. Reproduction with lucrative aims is not authorized neither its spreading and availability from a site foreign to the TDX service. Introducing its content in a window or frame foreign to the TDX service is not authorized (framing). This rights affect to the presentation summary of the thesis as well as to its contents. In the using or citation of parts of the thesis it's obliged to indicate the name of the author.

TD-353

Departament de Psicologia Bàsica
Facultat de Psicologia
UNIVERSITAT DE BARCELONA



BLOQUEO ESPACIAL

TESIS DOCTORAL

Realizada por:

M^a Teresa Rodrigo i Calduch

Dirigida por:

Dra. Victoria Díez Chamizo

Barcelona, Mayo de 1996

Al Sisco



Agradecimientos

El mérito que pueda tener este trabajo no es, sin duda, sólo mío. Muchas son las personas que me han ayudado y han colaborado durante su elaboración. A ellas dedico estas líneas.

En primer lugar, quiero agradecer a Victoria D. Chamizo, directora de esta tesis, sus inagotables consejos y su ejemplo en el trabajo, sin los cuáles no habría sido posible el resultado obtenido. A Nick J. Mackintosh, sus valiosos comentarios y su colaboración en el desarrollo de este trabajo. A José Prados, sus horas y preocupaciones compartidas y en especial, su trabajo previo con la piscina que facilitó mucho la realización de la presente investigación.

También quiero agradecer a todos los miembros del Laboratorio de Psicología Animal, la ayuda que me han prestado en todo momento y cuya compañía y amistad han hecho más agradable la realización de este trabajo. A Pep Batista i Trobalón, que me ha ayudado en diversos aspectos y fases de esta tesis. A Joan Sansa, por sus consejos informáticos y por haber facilitado enormemente el tratamiento de las matrices de datos. A Antonio Alvarez, por los fines de semana e inquietudes compartidas. A Justina Zamora, por demasiadas cosas. A Jaume March, Pepe Sánchez, Eva Catalán y Jordina Campañá, por su amistad y grata compañía. A Margarita, por la puesta a punto de cada día. Otro agradecimiento más a Jose, Justina, Pepe, Eva y Jordina, por haberme ayudado activamente en la realización de los experimentos.

También quiero mostrar mi agradecimiento a Manel Viader y Toni Cosculluela por sus consejos estadísticos.

Quiero agradecer a Sisco, mi marido, su ayuda, los fines de semana compartidos en el laboratorio y el apoyo incondicional que me ha prestado en todo momento. A mi primo Enrique, por su ayuda y compañía. El último agradecimiento es para mis padres, cuya ilusión hace que las horas duras de trabajo merezcan la pena.

El presente trabajo de investigación se ha llevado a cabo íntegramente en el Laboratori de Psicologia Animal de la Divisió de Ciències de la Salut de la Universitat de Barcelona y gracias a la beca de Formació de Personal Investigador concedida por el Comissionat per a Universitats i Recerca de la Generalitat de Catalunya a M^a Teresa Rodrigo i Calduch.

Índice

1.-INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS	11
1.1.- INTRODUCCIÓN	13
1.2.- OBJETIVOS	15
2.- EL FENÓMENO DEL BLOQUEO EN EL CONDICIONAMIENTO CLÁSICO	17
2.1.- EL CONDICIONAMIENTO CON ESTÍMULOS COMPUESTOS: El ensombrecimiento y el bloqueo	19
2.1.1.- Variables que afectan al bloqueo	23
2.2.- EL FENÓMENO DEL BLOQUEO EN LAS TEORÍAS DEL CONDICIONAMIENTO CLÁSICO	25
2.2.1.- El modelo de Rescorla y Wagner (1972)	25
2.2.2.- El modelo de Wagner (1978)	29
2.2.3.- La teoría de Mackintosh (1975)	30
2.2.4.- La teoría de Pearce y Hall (1980)	36
2.2.5.- El modelo de Pearce (1987)	40
2.2.6.- Fallo en la recuperación	43
3.- EL APRENDIZAJE ESPACIAL	47
3.1.- APRENDIZAJE DE RESPUESTA Y APRENDIZAJE DE LUGAR	50
3.1.1.- El mapa cognitivo de Tolman (1948)	53
3.2.- APRENDIZAJE TÁXICO Y APRENDIZAJE CARTOGRÁFICO	56
3.2.1.- El mapa cognitivo de O'Keefe y Nadel (1978)	58
3.3.- PRUEBAS RECIENTES A FAVOR DE LOS MAPAS COGNITIVOS	62
3.4.- PROCESOS COGNITIVOS DEL APRENDIZAJE ESPACIAL: Hipótesis del mapa cognitivo de O'Keefe y Nadel (1978) versus mecanismos asociativos del aprendizaje espacial	67
3.4.1.- Transferencia instantánea y aprendizaje latente	68
3.4.2.- Interacciones entre el aprendizaje táxico y cartográfico	75

4.- EXPERIMENTOS	83
4.1.- INTRODUCCIÓN E HIPÓTESIS DE LOS EXPERIMENTOS	85
4.2.- EXPERIMENTO 1	87
4.2.1.- Método	87
4.2.2.- Resultados y discusión	90
4.3.- EXPERIMENTO 2	93
4.3.1.- Método	94
4.3.2.- Resultados y discusión	95
4.4.- EXPERIMENTO 3	97
4.4.1.- Método	98
4.4.2.- Resultados y discusión	99
4.5.- EXPERIMENTO 4	101
4.5.1.- Método	103
4.5.2.- Resultados y discusión	104
4.6.- EXPERIMENTO 5	108
4.6.1.- Método	108
4.6.2.- Resultados y discusión	110
5.- DISCUSIÓN GENERAL	115
6.- CONCLUSIONES	133
7.- REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	137
8.- ANEXO	153

1.- INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

1.1.- INTRODUCCIÓN

Las ardillas entierran grandes cantidades de nueces y semillas en toda la extensión de su territorio y, en invierno, las desentierran y consumen. El almacenamiento de los alimentos mediante la dispersión de las reservas es una conducta típica de muchas especies de animales. Pero, ¿pueden recordar los lugares dónde han escondido la comida?. En realidad, la mayoría de las especies pueden encontrar el camino de regreso hasta sus tesoros ocultos sin demasiadas dificultades. En algunos casos, las hazañas memorísticas son prodigiosas y los animales recuerdan no solamente donde han dejado la comida, sino también los sitios que ya han visitado y el tipo de alimento escondido en cada lugar.

Cómo los animales aprenden a ir a determinados lugares y qué estrategias utilizan para encontrar una meta oculta, son cuestiones que muchos investigadores se han formulado desde principios de siglo. Sin embargo, es a partir del libro de O'Keefe y Nadel "Hippocampus as a cognitive map" (1978) - en el que se enfatiza la existencia de mapas cognitivos en animales inferiores - que el aprendizaje espacial ha tenido un auge considerable y que, en los últimos años, ha dado lugar a una gran cantidad de investigación. Actualmente, son muchos los psicólogos que consideran que la extraordinaria habilidad que tienen algunos animales para encontrar la comida que han escondido con anterioridad, se basa en el establecimiento y utilización de un mapa cognitivo del entorno (O'Keefe y Nadel, 1978; Olton, 1978; Menzel, 1978; Suzuki, Augerinos y Black, 1980). Esta afirmación implica aceptar que el animal se hace una representación mental de su hábitat que utilizará a modo de carta geográfica, extrapolando información a partir de estímulos externos. El mapa cognitivo permitiría que el animal almacenara información espacial durante un tiempo prolongado, en su memoria a largo plazo.

La noción de mapa cognitivo nos hace pensar en Tolman y en los laberintos. ¿Cómo resuelven las ratas un problema del laberinto en forma de T, por ejemplo?. Sabemos que las ratas resuelven problemas de laberinto aprendiendo a aproximarse al lugar donde está la meta. Pero, ¿cómo definen ese lugar?. O'Keefe y Nadel (1978) consideran que las ratas pueden aprender el camino hacia una meta en un laberinto de dos maneras diferentes. Una de ellas es mediante el aprendizaje táxico, que engloba dos estrategias distintas: la estrategia de respuesta u orientación, que consiste en el condicionamiento de movimientos de orientación (giros específicos a la derecha o a la izquierda en los puntos de elección), y la estrategia de guía, que consiste en el condicionamiento de respuestas de acercamiento a unas características intrínsecas o estímulos diferenciadores de los brazos de elección (claves intralaberinto). La segunda manera de llegar a una meta es mediante el aprendizaje cartográfico, que implica el establecimiento de un mapa espacial del entorno en el que se localizan varias partes del laberinto en relación al conjunto de los distintos objetos de la habitación (puntos de referencia

o claves extralaberinto).

La principal afirmación de estos investigadores es que el aprendizaje de un mapa es algo diferente de cualquier otra clase de aprendizaje. O'Keefe y Nadel (1978) caracterizaron el aprendizaje táxico como asociativo o incremental -correspondiendo la estrategia de orientación y la de guía al condicionamiento instrumental y pavloviano, respectivamente- y la estrategia cartográfica como un aprendizaje de "todo o nada", que conllevaría un reajuste automático en caso de que el animal detectara cambios una vez se hubiera formado el mapa y cuyos procesos subyacentes no serían asociativos. Además, ambas estrategias dependerían de estructuras cerebrales distintas, lo que sugiere que no sólo se trataría de aprendizajes muy distintos, sino independientes (para una revisión de este tema, ver Chamizo, 1990).

Si bien es cierto que los animales pueden acercarse a un determinado lugar en base a la relación espacial que mantiene con los objetos de la habitación (Suzuki, Augerinos y Black, 1980; Morris, 1981; Chamizo, Sterio y Mackintosh, 1985), otra cuestión es que el aprendizaje cartográfico sea diferente e independiente del aprendizaje asociativo tradicional, tal y como se deduce de las afirmaciones de O'Keefe y Nadel. Por ejemplo, Morris (1981) entrenó a unas ratas en una piscina circular, llena de agua opaca, a aproximarse a una plataforma blanca que estaba situada 1 cm por debajo del nivel del agua y que por tanto, era invisible para los animales. Morris demostró que las ratas podían aprender rápidamente a localizar un objeto que no podían ver, oír u oler en base a su localización espacial fija en relación a los puntos de referencia de la habitación. Sin embargo, concluyó que sus resultados "... apoyan la teoría del mapa cognitivo de la localización espacial pero no proporcionan una evidencia definitiva de que los procesos que se hallan a la base de la formación del mapa cognitivo o su uso son distintos de los procesos explorados en estudios tradicionales de aprendizaje asociativo " (p. 259).

Morris (1981) sugirió que una manera de poner a prueba esta afirmación es ver si determinados fenómenos pavlovianos, tales como el bloqueo y la inhibición latente, que rutinariamente se encuentran en experimentos de condicionamiento simple, y que por tanto deben de aparecer en el aprendizaje táxico, también se observan en el aprendizaje cartográfico. De ser así, esto implicaría que los procesos que se hallan a la base de ambos tipos de aprendizaje son los mismos.

Partiendo del supuesto de que las ratas aprenderían según una estrategia de guía cuando tuvieran que utilizar claves intralaberinto y según una estrategia cartográfica cuando tuvieran que utilizar claves extralaberinto, Chamizo, Sterio y Mackintosh (1985) y March, Chamizo y Mackintosh (1992) estudiaron si era posible encontrar bloqueo y ensombrecimiento entre claves intra- y extralaberinto en una tarea de discriminación espacial que tenía dos alternativas. Estos investigadores concluyeron que los dos conjuntos de claves interactuaban de

la misma manera que lo hace cualquier otro par de estímulos en experimentos de condicionamiento pavloviano o en discriminaciones simples. Estas interacciones implican que la estrategia cartográfica no es un tipo de aprendizaje diferente e independiente de las estrategias táxicas, tal como se desprende de la teoría de O'Keefe y Nadel (1978).

1.2.- OBJETIVOS

La presente Tesis Doctoral intenta dilucidar si a la base del aprendizaje espacial se hallan los mismos procesos asociativos que se sabe que son los responsables del aprendizaje no espacial. En caso afirmativo, deberíamos esperar que los puntos de referencia espaciales compitan entre sí por ganar fuerza asociativa con la recompensa de la misma manera que lo hacen otros estímulos (como tonos y luces) en experimentos de condicionamiento típicos y por tanto, encontrar fenómenos pavlovianos básicos, por ejemplo el bloqueo, dentro del dominio espacial. En un experimento de condicionamiento tradicional, es bien sabido que la experiencia previa con uno de los elementos de un estímulo compuesto como señal de la recompensa, bloquea o impide que el segundo elemento gane fuerza asociativa cuando posteriormente ambos indican la disponibilidad de la recompensa. Una demostración de bloqueo entre puntos de referencia espaciales, indudablemente sería una prueba inequívoca de que a la base del aprendizaje cartográfico se hallan los mismos procesos asociativos que están presentes en los experimentos de condicionamiento estándar. Este es el principal objetivo del presente trabajo.

* * *

La realización de esta Tesis ha requerido una puesta al día de distintas temáticas. Concretamente, en el Capítulo 2 veremos en qué consiste el fenómeno del bloqueo, las variables que le afectan y cómo distintas aproximaciones teóricas y empíricas de los modelos clásicos del condicionamiento pavloviano han intentado explicarlo. En el Capítulo 3 revisaremos algunos trabajos relevantes, clásicos y actuales, sobre aprendizaje espacial y mapas cognitivos con animales inferiores, haciendo especial hincapié en los mecanismos subyacentes. En el Capítulo 4 expondremos el trabajo experimental llevado a cabo, especificando los objetivos, resultados y discusión de cada uno de los experimentos. En el Capítulo 5 se discuten los resultados globales obtenidos dentro del marco teórico que previamente se ha presentado y finalmente, en el Capítulo 6, se enumeran las conclusiones obtenidas.

2.- EL FENÓMENO DEL BLOQUEO EN EL CONDICIONAMIENTO CLÁSICO

2.1.- EL CONDICIONAMIENTO CON ESTÍMULOS COMPUESTOS : EL ensombrecimiento y el bloqueo.

Cuando se expone a un animal a ciertas relaciones entre dos estímulos, éste se forma una representación de estos estímulos, establece asociaciones entre ellos y, como consecuencia de todo ello, la conducta del animal cambia. Podemos decir que ha ocurrido condicionamiento si la conducta de los sujetos cambia como consecuencia de su exposición a estas relaciones (Mackintosh, 1983). Si esta relación se establece entre un estímulo externo y un reforzador, independientemente de la conducta del sujeto, decimos que ha ocurrido un condicionamiento clásico o pavloviano. Si esta relación se establece entre una determinada acción del sujeto y un reforzador, decimos que ha ocurrido un condicionamiento instrumental.

Estudiando los reflejos condicionados, Pavlov (1927) colocaba a un perro hambriento encima de un arnés de condicionamiento y le presentaba una luz o un tono; cinco segundos después le presentaba la comida. La luz o el tono era el estímulo condicionado (EC), inicialmente un estímulo neutro, y la comida era el estímulo incondicionado (EI) o reforzador que provocaba un conjunto de respuestas incondicionadas (RIs), como por ejemplo la salivación. Al cabo de un cierto tiempo el EC también llegaba a provocar la salivación, denominándose entonces respuesta condicionada (RC). Este es un ejemplo de condicionamiento clásico o pavloviano, donde el cambio conductual, la RC, es una consecuencia de la correlación o contingencia entre el EC y el EI o reforzador.

También fue Pavlov (1927) el primero en demostrar que el nivel de condicionamiento de un estímulo depende de si éste se presenta solo o en compuesto con otros estímulos. Este investigador encontró que tras un condicionamiento a un estímulo compuesto formado por un elemento auditivo y otro visual, cuando a los sujetos se les ponía a prueba con cada uno de los elementos por separado, respondían ante el elemento auditivo pero no ante el visual; sin embargo, el estímulo visual era fácilmente condicionable cuando se presentaba por sí solo. También encontró los mismos resultados cuando ambos elementos del compuesto eran de la misma modalidad sensorial pero de diferentes intensidades. A este fenómeno le llamó ensombrecimiento: si un estímulo compuesto está formado por dos elementos de diferente intensidad o saliencia, el elemento más intenso hará que los animales aprendan menos con respecto al elemento menos intenso de lo que hubiesen aprendido si se les hubiera entrenado únicamente con el elemento menos intenso .

La ocurrencia de ensombrecimiento y su dependencia de las intensidades relativas de los elementos que forman el compuesto, ha sido confirmada por ejemplo, en estudios de supresión

condicionada (Kamin, 1969; Mackintosh, 1971; Mackintosh, 1976) y en aprendizaje discriminativo instrumental (Miles y Jenkins, 1973). En la Tabla 2.1. puede verse el diseño esquemático de un experimento de ensombrecimiento de Mackintosh (1976), que nos servirá de ejemplo¹. En este experimento utilizó la técnica de la supresión condicionada² con ratas y una luz y dos ruidos de diferente intensidad como ECs. A tres grupos de sujetos se les presentó un estímulo simple (una luz o uno de los dos ruidos de diferente intensidad) seguido de una descarga. A los sujetos de un grupo (grupo L) se les condicionó a una luz, a los de otro grupo (grupo r) a un ruido de baja intensidad (50 db) y a los de un tercer grupo (grupo R) a un ruido de alta intensidad (85 db). A otros dos grupos de sujetos se les presentaba un compuesto formado por la luz y un ruido, seguido de una descarga. Para los sujetos del grupo Lr el ruido era de intensidad baja (50db), mientras que para los sujetos del grupo LR era de intensidad alta (85db). Al final del experimento, a todos los sujetos se les puso a prueba con la luz sola para observar en qué medida la presencia del ruido entorpeció el condicionamiento a la luz. Posteriormente fueron puestos a prueba con el ruido solo (que era de la misma intensidad que el de entrenamiento, salvo para los sujetos del grupo L que fueron puestos a prueba con el ruido de 50 db) para observar en qué medida la presencia de la luz entorpeció el condicionamiento al ruido.

Tabla 2.1.- Mackintosh (1976).

Grupos	Entrenamiento	Prueba
L	L → d	L r
r	r → d	L r
R	R → d	L R
Lr	Lr → d	L r
LR	LR → d	L R

La Figura 2.1 muestra la razón media de supresión de cada uno de los grupos en el ensayo de prueba con la luz sola (Panel A) y con el ruido solo (Panel B). Como podemos ver en la

¹ El experimento constaba de 9 grupos, de los que sólo presentamos cinco.

² En esta técnica, el condicionamiento a un EC se refleja en una reducción de la tasa con que las ratas presionan una palanca para obtener comida en presencia del EC y se mide mediante una razón de supresión que tiene la forma $a/(a+b)$, donde a es el número de veces que la rata presiona la palanca en presencia del EC y b es el número de veces que la rata presiona la palanca en un periodo de tiempo equivalente inmediatamente antes de la presentación del EC. De esta forma, si la tasa de respuesta durante el EC y antes de su presentación es la misma, la razón será de 0.5, puntuación que indica ausencia de condicionamiento. Si por el contrario, el animal no efectúa ninguna respuesta durante el EC, la razón de supresión será 0, que indicará un condicionamiento máximo.

prueba con la luz sola, los grupos L y Lr mostraron una mayor supresión que el grupo LR. Este último grupo mostró un nivel de supresión semejante al mostrado por los grupos r y R, que no habían tenido experiencia con la luz. Los resultados mostraron que la presencia de un ruido intenso en el compuesto durante la fase de entrenamiento, grupo LR, hizo disminuir el aprendizaje de la relación luz-descarga, si lo comparamos con el grupo de control (L) entrenado únicamente con la luz. Sin embargo, esto no pasó cuando el ruido era de intensidad débil, grupo Lr, lo que demuestra que el ruido ensombreció a la luz sólo cuando era intenso. Por otra parte, en la prueba con el ruido sólo, podemos observar que los sujetos del grupo Lr y L mostraron una menor supresión que los otros tres grupos. La presencia de la luz durante el entrenamiento redujo el grado en que los animales aprendieron la asociación ruido-descarga cuando el ruido era débil (grupo Lr), pero no cuando era más saliente (grupo LR). Los resultados de este experimento demuestran que el grado de ensombrecimiento depende de la saliencia o intensidad de los dos elementos que forman el compuesto.

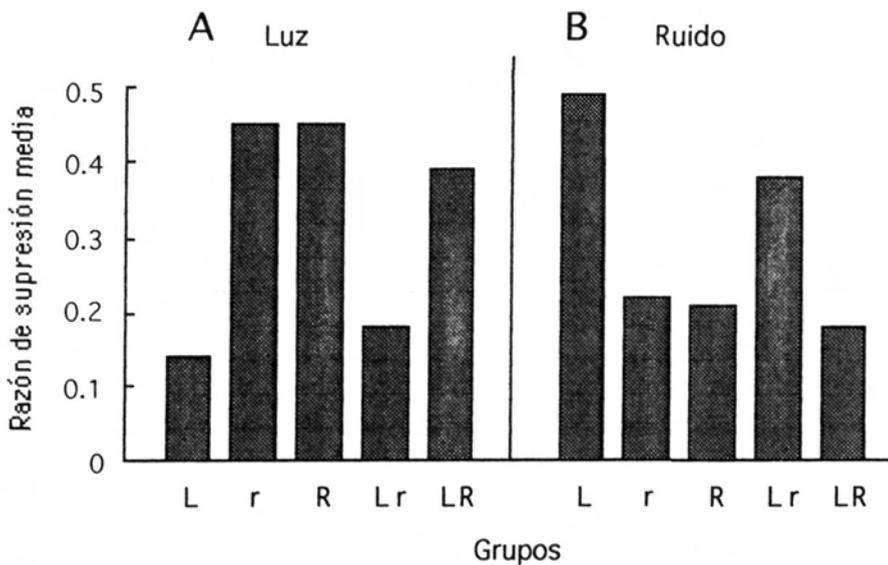


Figura 2.1.- Supresión de la respuesta de presión de palanca ante una luz (panel A) y ante un ruido (panel B) en distintos grupos de ratas expuestas al procedimiento de ensombrecimiento resumido en la Tabla 2.1. (Datos de Mackintosh, 1976).

El ensombrecimiento de un estímulo por otro no se ve afectado sólo por su relativa intensidad sino también por su validez predictiva (Wagner, Logan, Habertlandt y Price, 1968; Wagner, 1969). Un estímulo que sea un mejor predictor del reforzador ensombrecerá a otro que sea peor. Ya Pavlov (1927, pg.144) demostró que no ocurría ensombrecimiento cuando ambos estímulos habían sido condicionados independientemente uno del otro antes del condicionamiento en compuesto. Este hallazgo podría interpretarse en el sentido de que ambos estímulos eran buenos predictores del refuerzo, debido al entrenamiento previo, cuando

empezaba el condicionamiento compuesto y que por esto no ocurría ensombrecimiento.

¿Qué ocurre cuando se condiciona previamente a tan sólo uno de los dos elementos del compuesto?. Kamin (1968,1969) demostró que el condicionamiento previo de uno de los elementos de un estímulo compuesto bloquea o reduce la cantidad que se aprende del otro y acuñó este fenómeno con el nombre de bloqueo. En la Tabla 2.2. puede verse el diseño esquemático de uno de los experimentos de bloqueo de Kamin (1968) en el que utilizó la técnica de la supresión condicionada. En la primera fase del experimento, a los sujetos de bloqueo se les presentó una luz (grupo Bloqueo-R) o un ruido (grupo Bloqueo-L) seguidos de una descarga leve. Los sujetos de control no tuvieron ninguna experiencia en esta fase. En la segunda fase del experimento, a todos los grupos se les presentó un estímulo compuesto formado por la luz y el ruido, seguido de una descarga leve. Posteriormente, los sujetos fueron puestos a prueba ante la luz sola (grupos Bloqueo-L y Control-L) o ante el ruido solo (grupos Bloqueo-R y Control-R), para observar el aprendizaje de la asociación luz-descarga o ruido-descarga, respectivamente.

Tabla 2.2.- Kamin (1968)

Grupos	Fase 1	Fase 2	Prueba
Bloqueo-R	L → d	R+L → d	R
Bloqueo-L	R → d	R+L → d	L
Control-R	—	R+L → d	R
Control-L	—	R+L → d	L

Como podemos observar en la Figura 2.2, los dos grupos de bloqueo mostraron una menor supresión ante el elemento añadido en la fase 2 que los respectivos grupos de control. Estos resultados demuestran el efecto básico del bloqueo: el previo condicionamiento a uno de los elementos del compuesto bloqueó el condicionamiento al otro elemento, en comparación con el grupo de control que no tuvo este condicionamiento previo.

El fenómeno del bloqueo es sólido, consistente y se ha demostrado en una amplia variedad de organismos y con preparaciones diversas, como la supresión condicionada con ratas (Kamin, 1968; Mackintosh, 1971), el aprendizaje discriminativo con palomas (Johnson, 1970; Mackintosh y Honig, 1970; Miles, 1970) y con ratas (Mackintosh, 1965; Vom Saal y Jenkins, 1970), el automoldeamiento (Blanchard y Honig, 1976), la aversión condicionada al sabor (Revusky, 1971; Gillan y Domjan, 1977), la aversión al olor con ratas recién nacidas

(Cheatle y Rudy, 1978) y el parpadeo condicionado en conejos (Marchant y Moore, 1973).

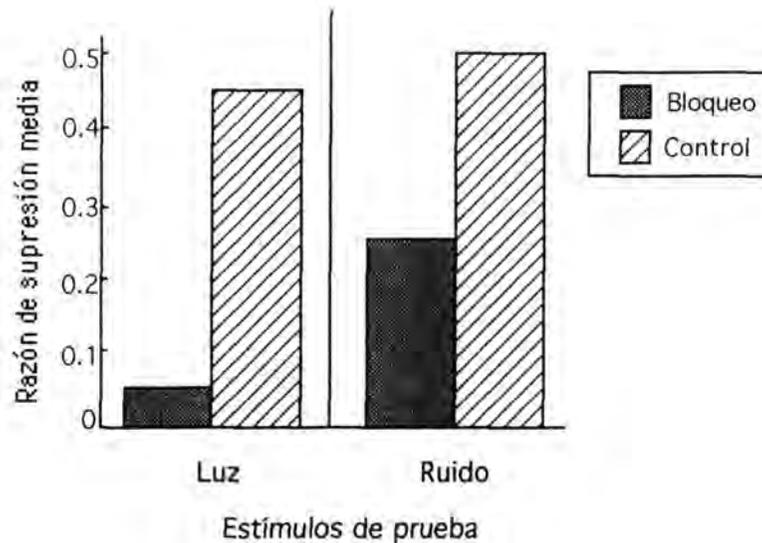


Figura 2.2.- Supresión de la respuesta de presión de palanca ante una luz (izquierda) y ante un ruido (derecha) en distintos grupos de ratas expuestas al procedimiento de bloqueo resumido en la Tabla 2.2. (Datos de Kamin, 1968).

2.1.1.- Variables que afectan al bloqueo

Diversas variables afectan al efecto de bloqueo. Al igual que el ensombrecimiento, la cantidad de bloqueo también está relacionada con la saliencia o intensidad de ambos elementos: ocurre un mayor bloqueo si el elemento preentrenado es más intenso que el elemento añadido y viceversa (Feldman, 1975; Hall, Mackintosh, Goodall y Dal Martello, 1977; Kamin, 1968).

La cantidad de bloqueo también está directamente relacionada con la cantidad de condicionamiento previo: ocurre un mayor bloqueo cuanto más condicionamiento previo al elemento preentrenado y viceversa. Por ejemplo, Kamin (1969) demostró un mayor condicionamiento del elemento añadido, y por tanto un menor bloqueo, si en la fase previa el elemento preentrenado no había llegado a la asíntota de condicionamiento. También se ha demostrado que el bloqueo se reduce si se extingue el condicionamiento al elemento preentrenado antes del condicionamiento compuesto (Gillan y Domjan, 1977; Kamin, 1968).

Por otra parte, el grado de bloqueo también depende de las variaciones en el EI o refuerzo. En otro experimento, Kamin (1969) encontró una atenuación o eliminación del efecto del bloqueo cuando se cambiaba la intensidad del EI entre las dos fases de condicionamiento (Tabla

2.3). A tres grupos de ratas se les presentó primero un ruido y después un compuesto formado por el ruido y una luz, seguidos de una descarga. En dos de estos grupos (1ma-1ma y 4ma-4ma) la intensidad de la descarga (que podía ser de 1 ma o de 4 ma) era igual en ambas fases, mientras que en otro grupo (1ma-4ma) había un cambio en la intensidad de la descarga entre el condicionamiento al elemento sólo (1 ma) y el condicionamiento al compuesto (4 ma). Al final del experimento, a todos los sujetos se les puso a prueba con la luz sola para observar cuánto habían aprendido de la asociación luz-descarga.

Tabla 2.3.- Kamin (1969)

Grupos	Fase 1	Fase 2	Prueba
1 ma-1 ma	R → d (1 ma)	R+L → d (1 ma)	L
1 ma-4 ma	R → d (1 ma)	R+L → d (4 ma)	L
4 ma-4 ma	R → d (4 ma)	R+L → d (4 ma)	L

Como podemos observar en la Figura 2.3, el grupo 1 ma-4 ma mostró una mayor supresión ante la luz que los otros dos grupos. Estos resultados demuestran que cuando el EI es el mismo en ambas fases el elemento añadido es bloqueado por el elemento preentrenado, mientras que si el EI es diferente el bloqueo al elemento añadido se atenúa o elimina.

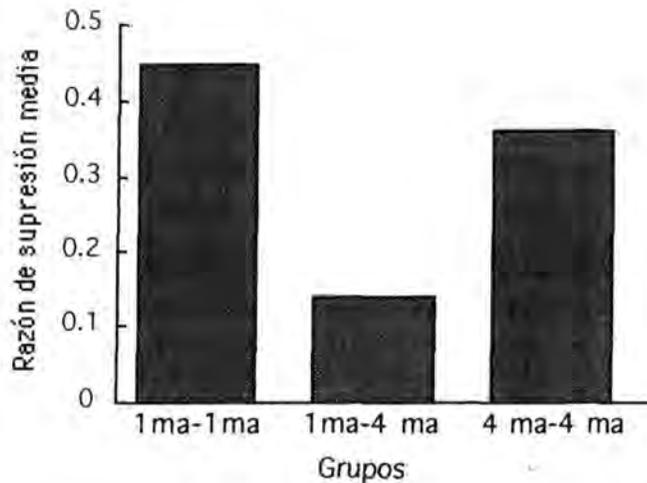


Figura 2.3.- Supresión de la respuesta de presión de palanca ante una luz en distintos grupos de ratas expuestas al procedimiento de bloqueo resumido en la Tabla 2.3. (Datos de Kamin, 1969).

A nivel experimental, también se ha encontrado una atenuación del bloqueo cuando el elemento preentrenado va seguido de una descarga y el compuesto de dos descargas separadas por un intervalo de 5 seg. (Kamin, 1969), cuando el elemento preentrenado va seguido de dos descargas separadas por un intervalo de 4 seg. y el compuesto de dos descargas separadas por un intervalo de 8 seg. (Dickinson, Hall y Mackintosh, Experimento 2, 1976), cuando el elemento preentrenado va seguido de dos descargas y el compuesto de sólo una descarga (Dickinson, Hall y Mackintosh, Experimento 3, 1976; Mackintosh, Bygrave y Picton, 1977), cuando el elemento preentrenado va seguido de una descarga y el compuesto predice una no-descarga (Kamin, 1969) y cuando hay un cambio de contexto entre ambas fases (Weaver y Gordon, 1988). Como veremos en la siguiente sección, la explicación de los efectos de la atenuación o eliminación del bloqueo ha sido un punto central en los distintos modelos de condicionamiento clásico.

2.2.- EL FENÓMENO DEL BLOQUEO EN LAS TEORÍAS DEL CONDICIONAMIENTO CLÁSICO

Los resultados de sus experimentos llevaron a Kamin a explicar el fenómeno del bloqueo en base a la sorpresividad del EI. Según Kamin (1969), para que se forme una asociación entre un EC y un EI, el EI tiene que ser sorpresivo, es decir, cuando el EI no es predicho por ningún EC presente en esa situación. El bloqueo se explica porque en el condicionamiento compuesto el EI es totalmente predicho por el elemento previamente condicionado, lo que provoca que este EI falle en funcionar como un estímulo reforzante para el condicionamiento del elemento añadido. La atenuación del bloqueo se explica porque un cambio en el EI entre ambas fases hace que el EI sea sorpresivo en el condicionamiento compuesto, permitiendo así que se forme una asociación entre el elemento añadido y el EI.

A partir de los hallazgos de Kamin, se han formulado diversos modelos que intentan explicar el papel de la sorpresa en el condicionamiento. Como veremos, estas formulaciones consideran que lo más importante son las variaciones en el procesamiento de uno de los elementos de la asociación, el EC o el EI (Dickinson, 1980; Dickinson y Mackintosh, 1978; Rescorla y Holland, 1982).

2.2.1.- El modelo de Rescorla y Wagner (1972)

Rescorla y Wagner recogen la idea de la sorpresividad del EI de Kamin (1969) y la formalizan en un modelo de aprendizaje ensayo a ensayo.

La idea central del modelo de Rescorla y Wagner (1972) es que el condicionamiento depende de si el EI es inesperado o imprevisto. Según estos autores, el procesamiento del EI no sólo refleja su saliencia e intensidad, sino también el grado en que es sorprendente o imprevisto. Cuanto más sorprendente sea el EI, mejor procesado será y por tanto, mayor será el aumento de la fuerza asociativa¹ del EC. De esta forma, la cantidad de procesamiento recibida por un EI va disminuyendo a medida que el animal aprende a esperarlo. Por tanto, el procesamiento del EI será igual a la cantidad de procesamiento que recibe cuando es totalmente imprevisto menos el grado en que el animal ya lo espera. Si llamamos λ al procesamiento del EI cuando es totalmente imprevisto y V a la fuerza asociativa del EC, el procesamiento del EI estará determinado por la discrepancia $(\lambda - V)$. Sin embargo, la sorpresividad del EI no depende sólo del grado en que es predicho por un determinado EC, sino del grado en que lo predicen todos los ECs presentes en la situación (ΣV) . El modelo considera además, que el procesamiento del EI también depende de su saliencia (β) , con lo que finalmente este procesamiento se regirá por la expresión $\beta (\lambda - \Sigma V)$.

Por otro lado, una característica fundamental del modelo de Rescorla y Wagner es el supuesto de que todas las variaciones en el aprendizaje se deben a cambios en la efectividad del EI, siendo fija la contribución del EC. Esto implica que el procesamiento del EC es igual en cualquier ensayo, estando únicamente determinado por alguna propiedad fija de este evento, como su saliencia (α) . En definitiva, los cambios en la fuerza asociativa de un estímulo dado, EC, vienen determinados por la siguiente regla:

$$\Delta V = \alpha \beta (\lambda - \Sigma V) \quad (2.1)$$

donde V representa la fuerza asociativa del EC, α representa la saliencia del EC, β representa la saliencia del EI, λ representa el procesamiento del EI cuando es imprevisto y ΣV representa la fuerza asociativa total de todos los estímulos presentes en un determinado ensayo.

Recordemos que en el fenómeno del bloqueo, el previo condicionamiento a A hace que en el posterior condicionamiento a AX, X no se asocie con el EI. El modelo de Rescorla y Wagner explica el bloqueo de la misma manera que Kamin (1969): ocurre bloqueo porque en el condicionamiento compuesto el EI es totalmente predicho por el elemento previamente condicionado. Concretamente, durante el condicionamiento previo a A, este estímulo adquirirá fuerza asociativa, de forma que V_A estará cerca de o será igual a λ al inicio del condicionamiento a AX, por lo que la discrepancia $(\lambda - V_{AX})$ será pequeña o nula y poco o ningún condicionamiento ocurrirá durante esta fase.

¹ El concepto de fuerza asociativa del EC (respecto al EI) se refiere a la fuerza de la representación interna de la asociación EC-EI (ver Dickinson, 1980).

Este modelo explica la atenuación del bloqueo, cuando se aumenta la intensidad del EI del condicionamiento a A al de AX (Kamin, 1969; ver Tabla 2.3), de la siguiente manera: cuanto mayor es la intensidad de la descarga mayor es la asíntota de condicionamiento, λ (demostrado experimentalmente por Annau y Kamin, 1961); si se aumenta la intensidad de la descarga en el condicionamiento a AX, la discrepancia ($\lambda - V_{AX}$) será mayor, puesto que λ será mayor en esta fase, y consecuentemente X se asociará con la descarga. Por tanto, el modelo puede explicar la atenuación del bloqueo cuando se aumenta la intensidad del EI entre ambas fases de condicionamiento. Sin embargo, no es tan exitoso cuando el bloqueo se atenúa por una disminución del EI entre ambas fases. Por ejemplo, Dickinson, Hall y Mackintosh (1976) mostraron una atenuación del bloqueo cuando una segunda descarga predecible no ocurría durante el condicionamiento compuesto. En este experimento, estos investigadores utilizaron cuatro grupos de ratas y un procedimiento de supresión condicionada (Tabla 2.4). En la fase 1, todas las ratas recibieron emparejamientos de un tono seguido de o bien una descarga (grupos 0-0 y 0-d) o bien de dos descargas separadas por un intervalo de 8 segundos (grupos d-d y d-0). En la fase 2, se presentó un estímulo compuesto del tono y una luz, seguido de una única descarga para la mitad de los sujetos (grupos 0-0 y d-0) y de dos descargas -también separadas por un intervalo de 8 segundos- para la otra mitad (grupos 0-d y d-d). De esta forma, el elemento añadido (la luz) señalaba una segunda descarga imprevista para un grupo (0-d) y la omisión de una segunda descarga prevista para otro grupo (d-0). Los dos grupos de control recibieron el mismo número de descargas, o bien una (grupo 0-0) o bien dos (grupo d-d), en ambas fases del experimento. Por último, en una fase de prueba se presentó la luz sola para observar el grado de aprendizaje acerca de la relación luz-descarga.

Tabla 2.4. Dickinson, Hall y Mackintosh (Experimento 3, 1976)

Grupos	Fase 1	Fase 2	Prueba
0-0	T → d	TL → d	L
0-d	T → d	TL → d-8-d	L
d-d	T → d-8-d	TL → d-8-d	L
d-0	T → d-8-d	TL → d	L

Como podemos observar en la Figura 2.4, el grupo 0-d mostró una mayor supresión ante la luz que el grupo 0-0, mostrando por tanto una atenuación del bloqueo en el grupo 0-d al añadir una segunda descarga imprevista tras la presentación del estímulo compuesto, un resultado ya encontrado por Kamin (1969). Por otra parte, podemos observar que el grupo d-0 también mostró una mayor supresión ante la luz que el grupo d-d, lo cual nos indica una atenuación del bloqueo también por la omisión de una segunda descarga prevista.

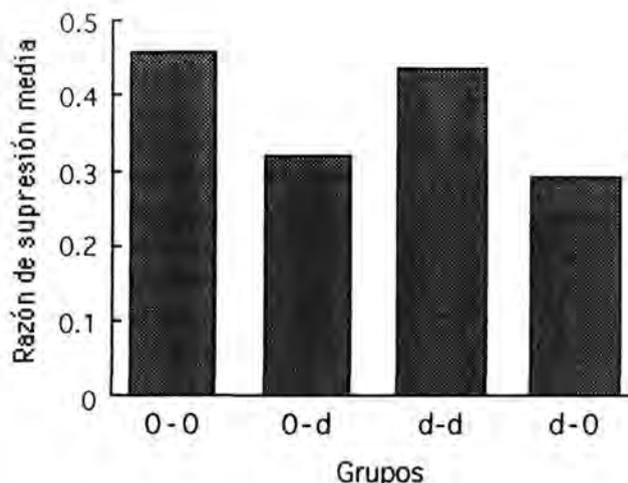


Figura 2.4.- Supresión de la respuesta de presión de palanca ante una luz en distintos grupos de ratas expuestas al procedimiento de bloqueo resumido en la Tabla 2.4. (Datos de Dickinson, Hall y Mackintosh, 1976).

La atenuación del bloqueo por la omisión de una segunda descarga prevista no puede explicarse desde el modelo de Rescorla-Wagner (1972). Mientras que para Kamin (1969) la atenuación del bloqueo requiere sólo que el elemento añadido señale algún evento sorprendente, en el modelo de Rescorla y Wagner el que ocurra un condicionamiento excitatorio significativo al elemento añadido requiere un incremento en la magnitud del reforzamiento en los ensayos compuestos. Según este modelo, el hecho de haber omitido la segunda descarga en el condicionamiento compuesto haría que λ fuera menor, por lo que la discrepancia ($\lambda - V_{LT}$) sería menor, o incluso negativa, que si no se hubiera omitido la descarga y por tanto, el modelo predice un mayor bloqueo o que la luz actúe como un inhibidor condicionado. Esta predicción se deriva del hecho de que las ratas en el grupo d-0 deberían esperar una descarga post-ensayo que en realidad no ocurre, siendo por tanto expuestas a una relación luz-no descarga post-ensayo. Según el modelo de Rescorla y Wagner, el aprendizaje de una asociación EC- no El consiste en la adquisición de fuerza asociativa negativa. Un estímulo con fuerza asociativa negativa se vuelve un inhibidor condicionado, que tiene la propiedad de disminuir la RC provocada por un estímulo excitador.

Resultados en la misma línea que los de Dickinson y cols. (1976) son los de Schachtman, Kaspro, Chee y Miller (1985), quienes encontraron bloqueo pero no inhibición condicionada en un experimento de supresión condicionada, en el que presentaron a unos sujetos emparejamientos A+ y B+ en la primera fase y emparejamientos ABX+ en la segunda fase. Este resultado tampoco puede explicarse desde el modelo de Rescorla y Wagner, el cual predice que

en esta situación X se volvería un inhibidor condicionado puesto que la fuerza asociativa excitatoria sumada de A y B sobrepasaría en mucho la asíntota de condicionamiento, lo que haría que X adquiriera fuerza asociativa negativa. Por otra parte, hay otros resultados de Kamin (1969) que tampoco pueden explicarse desde este modelo. Por ejemplo, este investigador encontró que en el primer ensayo en el que X se presenta en compuesto con A, los sujetos muestran una menor supresión que en los ensayos previos con A solo. Además, demostró que la mayor parte del condicionamiento a X que ocurre en este paradigma, resulta de este primer ensayo AX. No es de esperar, según el modelo de Rescorla-Wagner, que la introducción de X interfiera con la supresión a A a menos que se considere que X tenga inicialmente fuerza asociativa negativa.

Independientemente de la incapacidad del modelo para explicar los resultados anteriores, la mayor crítica al modelo de Rescorla y Wagner ha sido el hecho de que el condicionamiento se explique sólo por el procesamiento del EI, lo que incapacita al modelo para explicar el fenómeno de la inhibición latente: la previa exposición no reforzada a un estímulo, o preexposición, normalmente retrasa el condicionamiento posterior con ese estímulo (Lubow, 1973). Puesto que el condicionamiento se explica sólo por el procesamiento del EI, el modelo no es capaz de predecir los efectos de la preexposición del EC solo, ya que éste no afecta a la fuerza asociativa. Una alternativa sugerida por los propios Rescorla y Wagner es explicar la inhibición latente asumiendo que la preexposición reduce la saliencia (α) del EC. Pero, tal como reconocen Wagner y Rescorla (1972), su modelo no tiene reglas que dirijan las modificaciones de la saliencia del EC.

2.2.2.- El modelo de Wagner (1978)

Wagner (1978) reformuló el modelo de Rescorla y Wagner (1972) en buena medida para dar cabida al fenómeno de la inhibición latente. Según este autor, igual que el procesamiento del EI depende de que éste sea o no sorprendente, otro tanto ocurre con el EC. En tanto que la ocurrencia del EC sea predicha por otros eventos y estímulos presentes en el ambiente del animal, el EC no será procesado. Dentro de este modelo, los estímulos contextuales juegan un papel importante. Wagner considera que cuando se presenta repetidamente un estímulo en un contexto determinado, se forma una asociación entre ese estímulo y los estímulos contextuales; en consecuencia, ese estímulo será predicho por el contexto y dejará de ser sorprendente, recibiendo por tanto un menor procesamiento. En la ecuación (2.2) se expresa formalmente la idea de que el grado en que un animal aprende acerca de una asociación EC-EI depende de en qué medida el EC y el EI son imprevistos o sorprendentes:

$$\Delta V = \alpha(1 - \Sigma v) \beta(\lambda - \Sigma V) \quad (2.2)$$

donde, manteniendo el concepto de sorpresividad del EI ($\lambda - \Sigma V$), se amplía de forma paralela el concepto de sorpresividad del EC, siendo I el grado en que sería procesado un EC totalmente inesperado y Σv el grado en que toda la estimulación presente predice la ocurrencia del EC. Así, el incremento en la fuerza asociativa (ΔV) para un determinado estímulo en un ensayo concreto, depende por una parte del producto de la sorpresividad del EC ($I - \Sigma v$) y la saliencia del mismo EC (α) y por otra, de la sorpresividad del EI ($\lambda - \Sigma V$) multiplicado por la intensidad de ese EI (β).

El modelo es capaz de explicar el fenómeno de la inhibición latente, o procedimiento de exposición al EC: el posterior aprendizaje se ve retrasado debido a que el EC acaba siendo predicho por las claves contextuales y por tanto, no es procesado igual que un EC novedoso. Sin embargo, aunque Wagner (1978) tiene en consideración los cambios en la efectividad del EC, mantiene la premisa de que la sorpresividad del EI ($\lambda - \Sigma V$) determina cuánto se aprende en un determinado ensayo, lo que hace que este modelo se encuentre con los mismos problemas que el modelo de Rescorla-Wagner (1972) a la hora de explicar los resultados de la atenuación del bloqueo de Dickinson et al. (1976), particularmente cuando son una consecuencia de la omisión de una descarga predicha.

2.2.3.- La teoría de Mackintosh (1975a)

A diferencia del modelo de Rescorla-Wagner (1972) que se centra en el procesamiento del EI, el modelo de Mackintosh (1975a) se centra en el procesamiento del EC. Este modelo contempla los cambios en la atención al EC ($\Delta \alpha_{EC}$), que a su vez afectan a los cambios en la fuerza asociativa del EC (ΔV_{EC}). Mientras que en el modelo de Rescorla y Wagner el valor de α (saliencia del EC) es fijo, en el modelo de Mackintosh el valor de α (atención al EC) varía con la experiencia. Para Mackintosh, el cambio de α vendrá determinado por el valor predictivo del EC.; si un EC es mejor predictor del EI que todos los demás eventos presentes en ese ensayo, el grado de procesamiento que ese EC recibe en un ensayo posterior aumentará, mientras que si no lo es, tal procesamiento se verá reducido. Estas relaciones se expresan formalmente en las siguientes ecuaciones:

$$\Delta \alpha_A \text{ es positivo si } |\lambda - V_A| < |\lambda - V_Y| \quad (2.3 \text{ a})$$

$$\Delta \alpha_A \text{ es negativo si } |\lambda - V_A| \geq |\lambda - V_Y| \quad (2.3 \text{ b})$$

donde V_Y ¹ representa la fuerza asociativa de todos los otros estímulos, excepto A, presentes en

¹ En el modelo original de Mackintosh (1975a) se utiliza la expresión V_X para designar la fuerza asociativa de los estímulos presentes en un ensayo determinado. Nosotros utilizaremos la expresión V_Y para evitar confusiones con la fuerza asociativa del elemento añadido X que hemos venido designando como V_X .

un determinado ensayo.

La forma en que el valor α_A influye en el curso de la adquisición de la fuerza asociativa se expresa de la siguiente manera:

$$\Delta V_A = \alpha_A (\lambda - V_A) \quad (2.4)$$

De hecho, Mackintosh acepta básicamente el modelo de Rescorla y Wagner para los cambios de la fuerza asociativa y añade una ecuación similar para el parámetro α , de manera que el modelo se convierte en una teoría de dos factores, con un proceso atencional y un proceso de incremento en la fuerza asociativa. Sin embargo, hay una diferencia crucial entre los dos modelos. Rescorla y Wagner consideran que el cambio en la fuerza asociativa de un estímulo está determinada por la discrepancia entre λ y la suma de la fuerza asociativa de todos los estímulos presentes en ese ensayo (ΣV) y aceptan por tanto, aunque no de forma explícita, que los estímulos de un compuesto compiten entre ellos para ganar más fuerza asociativa, de forma que un incremento de la atención a un conjunto de estímulos implicará necesariamente la disminución de la atención a otro conjunto de estímulos. Por el contrario, Mackintosh considera que el cambio en la fuerza asociativa de un estímulo está determinada por la discrepancia entre λ y la fuerza asociativa del estímulo en cuestión, siendo los cambios en la efectividad del EC los que marcarán el curso de la adquisición; de esta manera, los animales dejan de atender a unos estímulos, no porque estén atendiendo a otros estímulos sino porque después de prestarles atención han aprendido que son redundantes (Mackintosh y Turner, 1971; Mackintosh, 1973).

La teoría de Mackintosh explica el bloqueo mediante una disminución del valor de α del elemento añadido. Concretamente, el preentrenamiento de A hará que este estímulo sea un buen predictor del EI y por tanto, cuando se presente AX en el condicionamiento compuesto α_X decrecerá rápidamente. Ya que V_X tendrá un valor próximo a cero, mientras que V_Y (el cual incluye V_A) estará próximo a λ , $|\lambda - V_X| > |\lambda - V_Y|$ y $\Delta \alpha_X$ será negativo, la atención a X disminuirá y no se condicionará. Vemos por tanto, que el bloqueo puede explicarse en términos de la redundancia, pero sin apelar ni a limitaciones en la capacidad atencional ni a limitaciones en la fuerza asociativa total condicionable por un reforzador particular. La redundancia de X reduce α_X y por tanto, no sólo X no se asociará con ese EI sino que también verá reducida su posterior asociabilidad con otros EIs (Mackintosh y Turner, 1971; Mackintosh, 1978).

Predicciones importantes de la teoría de Mackintosh han recibido cierto apoyo empírico. Ciertamente, el modelo puede explicar todos los hallazgos de la atenuación del bloqueo con un cambio en el EI. Según el modelo, el bloqueo depende de hasta qué punto el elemento añadido señala algún cambio en el reforzamiento. Si A señala reforzamiento y AX señala no reforzamiento, entonces α_X aumentará más bien que disminuirá, ya que X será un mejor

predictor del no reforzamiento que A (Dickinson, Hall y Mackintosh, 1976; Mackintosh, Bygrave y Picton, 1977). Si AX señala un reforzador más fuerte que el que señalaba A, entonces α_X tenderá a disminuir, pero menos rápidamente que si AX señalara el mismo reforzador que A. En definitiva, la atenuación del bloqueo puede producirse por cualquier evento sorprendente tras la presentación del estímulo compuesto. De acuerdo con el presente análisis, la función de un evento sorprendente es la de mantener la atención al elemento añadido, impidiendo por tanto una disminución en el valor de α y permitiendo entonces que el condicionamiento entre este elemento y el EI original proceda normalmente. Este punto de vista puede explicar también porque Gray y Appignanesi (1973) fueron capaces de producir una atenuación del bloqueo presentando un flash siguiendo a cada ensayo compuesto; tal estímulo imprevisto mantenía la atención al elemento añadido, permitiendo así que se asociara con la descarga. Una predicción que se desprende del análisis anterior es que si antes de la presentación del compuesto que señala un cambio en el EI, se les presenta a los sujetos unos cuantos ensayos en los que el compuesto no señale un cambio en el EI, no debería observarse atenuación del bloqueo, ya que en estos ensayos el valor de α del elemento añadido disminuiría. Esta predicción ha sido confirmada en un experimento de Mackintosh y Turner (1971).

Según Mackintosh, después de cada ensayo de aprendizaje se realiza una evaluación de la capacidad predictiva de todos los ECs presentes respecto al EI que ocurrió en ese ensayo. Esta información es utilizada entonces para controlar el procesamiento de cada EC durante las posteriores experiencias de aprendizaje. Por tanto, una predicción que se desprende de este modelo es que no debería observarse bloqueo en el primer ensayo compuesto, puesto que se necesitaría al menos un ensayo para reducir α_X hasta un punto donde los cambios en la fuerza asociativa de X fueran mínimos. Recordemos que Kamin (1969) proporcionó pruebas de que la mayor parte del condicionamiento a X que ocurría en un experimento de bloqueo resultaba del primer ensayo AX. Sin embargo, los resultados al respecto son algo ambiguos. Mientras que hay investigaciones en las que no se ha encontrado bloqueo tras un único ensayo compuesto (Mackintosh, 1975b; Mackintosh, Dickinson y Cotton, 1980), hay otras que sí muestran bloqueo tras un único ensayo compuesto (Gillan y Domjan, 1977; Cheatle y Rudy, 1978; Balaz, Kasproy y Miller, 1982; Willner, 1978) y hay pruebas de que el condicionamiento al elemento añadido que se observa tras un único ensayo compuesto no refleja un fracaso del elemento preentrenado para bloquear al elemento añadido, sino más bien la ocurrencia de una asociación intra-compuesto que se produce por la asociación entre el elemento preentrenado y el añadido, capacitando al elemento preentrenado para actuar como un reforzador de orden superior de la supresión al elemento añadido (Dickinson, Nicholas y Mackintosh, 1983). De hecho, varias investigaciones han demostrado la formación de asociaciones intra-compuesto durante el condicionamiento compuesto en un paradigma de bloqueo (Holland, 1980; Rescorla y Durlach, 1981; Speers, Gillan y Rescorla, 1980).

Tal y como señala Dickinson (1980), los estudios sobre el efecto de la sorpresa post-ensayo (por ejemplo, una segunda descarga imprevista) proporcionan pruebas más convincentes del tipo de mecanismo contemplado por la teoría de Mackintosh. Mientras que Rescorla y Wagner (1972) suponen que la sorpresa de una segunda descarga imprevista sirve para aumentar el aprendizaje producido en el ensayo inmediatamente anterior al modificar el procesamiento del EI, para Mackintosh sirve para mantener el procesamiento del EC y por tanto, para aumentar el aprendizaje producido en los ensayos posteriores. Mackintosh, Bygrave y Picton (1977) pusieron a prueba si la presentación de una segunda descarga sorprendente durante el condicionamiento compuesto actuaba retroactiva o proactivamente en un experimento de supresión condicionada de la respuesta de lameteo en ratas. En la Tabla 2.5 puede verse esquematizado el diseño básico del experimento. En la fase 1, los sujetos de cinco grupos recibieron cuatro ensayos en los que una luz iba seguida de una descarga; los sujetos de un sexto grupo también recibieron cuatro ensayos con la luz, pero ésta era seguida por dos descargas, separadas por un intervalo de 10 segundos. En la fase 2, dos grupos de sujetos tuvieron un sólo ensayo de condicionamiento a un estímulo compuesto de la luz y un tono, que iba seguido de una sola descarga (grupo 0) o de una segunda descarga 10 segundos después de la primera descarga (grupo d). Los otros cuatro grupos de sujetos tuvieron dos ensayos de condicionamiento compuesto: dos de estos grupos recibieron una descarga en el primer ensayo y una sola descarga (grupo 0-0) o dos descargas (grupo 0-d) en el segundo ensayo, mientras que los otros dos grupos restantes recibieron dos descargas en el primer ensayo y una sola descarga (grupo d-0) o dos descargas (grupo d-d) en el segundo ensayo de condicionamiento compuesto. Finalmente, a todos los sujetos se los puso a prueba en presencia del tono solo para medir el aprendizaje de la asociación tono-descarga.

Tabla 2.5. Mackintosh, Bygrave y Picton (1977)

Grupos	Fase 1 (Ensayo 4)	Fase 2		Prueba
		Ensayo 1	Ensayo 2	
0	L → d	TL → d		T
d	L → d	TL → d-10-d		T
d-0	L → d	TL → d-10-d	TL → d	T
0-0	L → d	TL → d	TL → d	T
0-d	L → d	TL → d	TL → d-10-d	T
d-d	L → d-10-d	TL → d-10-d	TL → d-10-d	T

Como podemos observar en la Figura 2.5, los grupos 0 y d no difirieron en la medida de

supresión al tono, lo que pone de manifiesto que el evento sorpresivo no mejoró significativamente el aprendizaje de los sujetos del grupo d en el ensayo inmediatamente anterior. Por el contrario, el tono produjo más supresión durante la prueba en el grupo d-0 que en el grupo 0-0. Además, el grupo 0-d que tuvo el evento sorprendente en el segundo ensayo de condicionamiento compuesto no manifestó una mayor supresión que el grupo 0-0. Estos resultados son compatibles con la idea de que un evento sorpresivo aumenta la capacidad del animal para aprender en los ensayos posteriores, es decir, proactivamente, tal y como postula Mackintosh (1975a) y no retroactivamente, como postulan Rescorla y Wagner (1972).

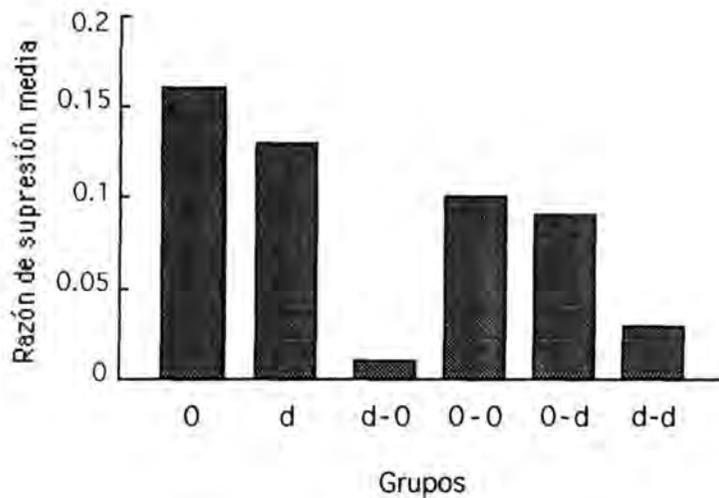


Figura 2.5.- Supresión de la respuesta de lameteo ante un tono en varios grupos de ratas expuestas al procedimiento de bloqueo resumido en la tabla 2.5. (Datos de Mackintosh, Bygrave y Picton, 1977).

A pesar de todos los hallazgos empíricos que puede explicar el modelo, hay otros que ponen en duda que las reglas que Mackintosh sugiere que gobiernan los cambios en α sean adecuadas. Por ejemplo, Hall, Mackintosh, Goodall y Dal Martello (1977) demostraron que el previo condicionamiento con un tono débil mostraba sólo un ligero efecto de bloqueo cuando el elemento añadido en el condicionamiento compuesto era una luz intensa. No sólo demostraron que un estímulo de baja saliencia era capaz de bloquear, aunque fuera levemente, un estímulo más saliente, sino que además demostraron que perdió control sobre la conducta durante el condicionamiento compuesto. El problema viene de la incapacidad del modelo de explicar cómo un estímulo pierde el control sobre la respuesta una vez ya lo ha adquirido. Una sugerencia del propio Mackintosh (1975), fue la de considerar que α puede determinar tanto el aprendizaje como la actuación. De esta forma, una disminución de α puede llevar a que el estímulo pierda el control sobre la actuación, aunque la fuerza asociativa del estímulo no disminuya.

Sin embargo, el modelo presenta más problemas cuando se aplica al fenómeno de la inhibición latente. La disminución en la asociabilidad de un estímulo presentado solo no causa problemas al modelo. Durante la preexposición, λ , V_A y V_X , son todas 0 y por tanto, α disminuye. Pero en un experimento de supresión condicionada en ratas, Hall y Pearce (1979), y también Pearce y Hall, 1979) encontraron que ocurría una disminución similar incluso cuando el estímulo era preexpuesto no por sí solo sino emparejado con un reforzador, siendo por tanto, un buen predictor. Durante la primera fase del experimento (ver Tabla 2.6), un grupo de ratas (T) recibió varias exposiciones a un tono, mientras que otros dos grupos recibieron varios emparejamientos de una luz (grupo L-d) o del tono (grupo T-d) seguidos de una descarga leve. En la segunda fase, todos los grupos experimentaron emparejamientos de un tono y una descarga más intensa, midiéndose la rapidez con que el tono llegaba a suprimir la presión de palanca.

Tabla 2.6. Hall y Pearce (1979)

Grupos	Fase 1	Fase 2
T-d	tono-descarga débil	tono-descarga fuerte
T	tono	tono-descarga fuerte
L-d	luz-descarga débil	tono-descarga fuerte

Como podemos observar en la Figura 2.6, el grupo L-d, que no fue preexpuesto al tono y que actuaba como grupo de control, aprendió más rápidamente que el grupo T, mostrándose el efecto básico de la inhibición latente. No obstante, el resultado más interesante se refiere a la velocidad con que el grupo T-d aprendió en la segunda fase. Este grupo aprendió más despacio que el grupo L-d, aunque no tan lentamente como el grupo T. Si como afirma Mackintosh, el procesamiento de un EC aumenta cuando es un buen predictor del refuerzo, el grupo T-d debería haber aprendido al menos con la misma rapidez que el grupo L-d. La experiencia de la relación entre el tono y una descarga débil durante la primera fase debería haber convertido al tono en un buen predictor de un evento significativo, lo que, como poco, debería haber impedido cualquier disminución del procesamiento del tono, quizás incluso aumentando su efectividad.

También Dickinson (1976) encontró que un tono se asociaba más lentamente cuando era un buen predictor que cuando era totalmente nuevo. Estos experimentos muestran que un estímulo puede perder asociabilidad incluso si adquiere fuerza asociativa, fenómeno que no puede explicarse desde el modelo de Mackintosh.

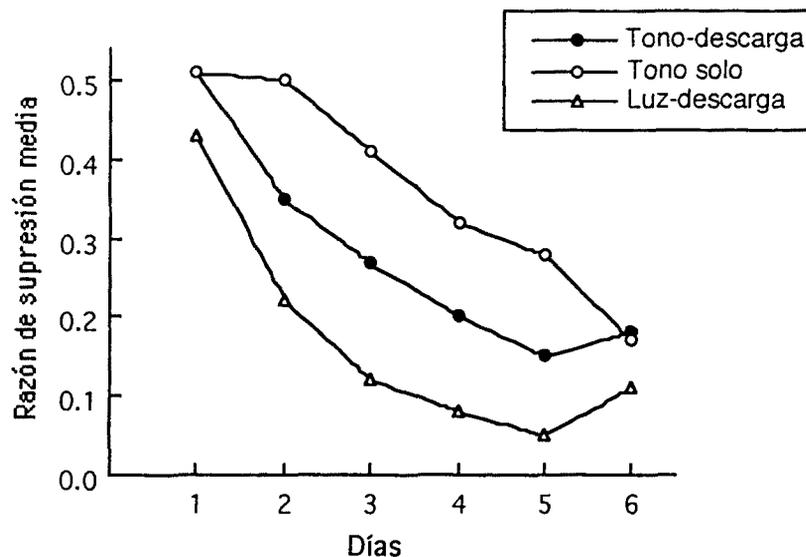


Figura 2.6.- Supresión de la respuesta de presión de palanca ante un tono en varios grupos de ratas, a lo largo de varias sesiones en que el tono fue emparejado con una descarga eléctrica. Anteriormente, los grupos T-d y L-d habían recibido emparejamientos del tono y la luz, respectivamente, con una descarga más débil, mientras que el grupo T fue simplemente preexpuesto al tono. (Datos de Hall y Pearce, 1979).

2.2.4.- La teoría de Pearce y Hall (1980)

Pearce y Hall recogieron la idea central del modelo de Mackintosh, pero rechazaron las reglas que gobiernan los cambios de la efectividad del EC propuestas por él. Mientras que Mackintosh (1975) afirma que la asociabilidad (atención) a un estímulo se mantiene cuando está correlacionado con el EI, Pearce y Hall predicen un decremento en la asociabilidad cuando el estímulo es un buen predictor del refuerzo.

A la base de esta idea, está la suposición de que la asociación entre un EC y un EI se lleva a cabo durante el tiempo en que están presentes en un procesador central de capacidad limitada (Wagner, 1978). Las entradas de los ECs y de los EIs a este procesador central se determinan independientemente para los ECs y los EIs. De hecho, es probable que un EI siempre tenga acceso al procesador, mientras que un EC tendrá un acceso limitado. Para Pearce y Hall (1980) los estímulos que predicen completamente sus consecuencias no accederán al procesador mientras que los estímulos que van seguidos de algún evento inesperado (sorpresivo) tendrán acceso y serán procesados (a diferencia de Mackintosh). Esta idea se basa en la distinción entre procesamiento automático y procesamiento controlado, surgida de algunas teorías del procesamiento de información en humanos (LaBerge, 1975; Schneider y Shiffrin, 1977;

Shiffrin y Schneider, 1977).

Concretamente, Pearce y Hall (1980) propusieron que la asociabilidad (α) de un estímulo nuevo tiende a ser alta (estando determinada por la saliencia del estímulo), pero que disminuye al mismo tiempo que su fuerza asociativa aumenta. Esta idea se expresa formalmente como sigue:

$$\alpha_A^n = |\lambda^{n-1} - \sum V^{n-1}| \quad (2.5)$$

donde α_A^n representa la asociabilidad del estímulo A en el ensayo n, λ^{n-1} es la intensidad del EI en el ensayo previo y $\sum V^{n-1}$ es la suma de la fuerza asociativa de todos los estímulo presentes en el ensayo previo. Tanto α como λ pueden variar entre 0 y 1.

La fuerza asociativa que gana un estímulo en un ensayo de condicionamiento depende no sólo de la asociabilidad del EC sino de su intensidad y de la intensidad del EI. Esto se expresa:

$$\Delta V_A^n = S_A |\lambda^{n-1} - \sum V^{n-1}| \lambda^n \quad (2.6)$$

donde S es el parámetro (que varía de 0 a 1) que depende de la intensidad del EC. Por tanto, el papel que juega la intensidad de un estímulo es explícitamente separado del que juega los cambios de su asociabilidad. En un procedimiento de condicionamiento simple, el valor de V aumentará de ensayo a ensayo como resultado de los emparejamientos EC-EI y en consecuencia el valor de α disminuirá. Cuando α sea igual a 0 (en el momento que V iguala a λ) no habrá más condicionamiento.

Veámos cómo el modelo explica el bloqueo. Tras el preentrenamiento, la fuerza asociativa del estímulo A (V_A) será igual a λ . Cuando se añade el estímulo X en el condicionamiento compuesto, y los parámetros de reforzamiento no son cambiados, el EI será totalmente predicho por A. De esta manera, la asociabilidad de X (α_X) estará cerca de 0 en todos menos en el primer ensayo, ya que la discrepancia $|\lambda^{n-1} - \sum V^{n-1}|$ estará cerca de 0 debido a los emparejamientos previos de A; pero en el primer ensayo la asociabilidad de X tendrá su valor de salida normal y algún aprendizaje ocurrirá en ese ensayo. Así, al igual que Mackintosh (1975), Pearce y Hall predicen que el condicionamiento procederá normalmente en el primero ensayo, pero no después. Sin embargo, ya hemos visto que los resultados acerca de esta predicción no han sido concluyentes.

Si los parámetros del reforzamiento se cambian produciendo un incremento en λ durante

los ensayos compuestos en un paradigma de bloqueo, el condicionamiento del elemento añadido, X, continuará durante un cierto número de ensayos, ya que habrá una discrepancia entre λ y ΣV . Si la atenuación del bloqueo es producida por la sorpresa de omitir una segunda descarga (Dickinson et al. 1976), la presencia de una primera descarga totalmente predicha producirá una disminución en α_X , mientras que la omisión de la segunda producirá un incremento. Como resultado, α_X no disminuirá, o al menos no tanto como en los sujetos de control que reciben las dos descargas. Este valor relativamente alto de α_X permitirá que X forme una asociación excitatoria con la primera descarga y una asociación inhibitoria con la segunda descarga¹, que atenuará los efectos de la primera asociación. En este punto, Pearce y Hall asumen que la proximidad temporal de la primera descarga asegurará que el condicionamiento excitatorio predomine sobre el inhibitorio.

Una predicción que se desprende del modelo es que si convertimos a un EC en un buen predictor, emparejándolo consistentemente con algún EI, la velocidad con la que un animal aprenderá una nueva relación en que intervenga ese EC y un nuevo EI debería resultar disminuida. Esta predicción contrasta claramente con la que se deriva del modelo de Mackintosh (1975) y capacita al modelo de Pearce y Hall, para explicar satisfactoriamente los resultados del experimento de Hall y Pearce (1979), que no podían ser explicados desde el modelo de Mackintosh. En este experimento, veíamos que el preentrenamiento de un tono con una descarga eléctrica débil reducía la capacidad de este estímulo para formar una nueva asociación con una descarga fuerte durante la segunda fase del experimento (ver Figura 2.6). Estos resultados pueden explicarse desde este modelo considerando que durante el preentrenamiento, a medida que la fuerza asociativa del tono (V) aumentaba y se aproximaba a λ , la discrepancia entre ambos era muy pequeña y por tanto, la asociabilidad del tono (α) disminuía hasta un valor cercano a cero, por lo que al menos en el primer ensayo de la segunda fase no hubo aprendizaje y el condicionamiento avanzó muy lentamente. También comentamos que en un experimento de supresión condicionada en ratas, Dickinson (1976) encontró que un tono se asociaba más lentamente cuando era un buen predictor que cuando era totalmente nuevo. Sin embargo, también demostró que una presentación no correlacionada entre un EC y un EI producía todavía un mayor retraso en el aprendizaje posterior. Durante la primera fase del experimento (ver Tabla 2.7), un grupo de ratas, el grupo Emparejado, recibió varias presentaciones de un tono que iba seguido de comida. El grupo Aleatorio, recibió el mismo número de presentaciones del tono y de la comida que el grupo anterior, pero esta vez, sin que tuvieran relación entre sí, asegurando que el tono no fuera un buen predictor de la comida. El tercer grupo del experimento, el grupo de Control, recibió durante esta primera fase presentaciones aisladas de la comida sola. En la segunda fase, todos los grupos experimentaron emparejamientos de un tono y una descarga, midiéndose la rapidez con que el tono llegaba a suprimir la presión de palanca.

¹ Esto se deriva de la idea del condicionamiento inhibitorio en el modelo de Pearce y Hall. Según el modelo, la omisión de un EI esperado activa una representación no-EI, produciéndose entonces una asociación EC-no EI.

Tabla 2.7. Dickinson (1976)

Grupos	Fase 1	Fase 2
Emparejado	tono-comida	tono-descarga
Aleatorio	tono-comida	tono-descarga
Control	comida	tono-descarga

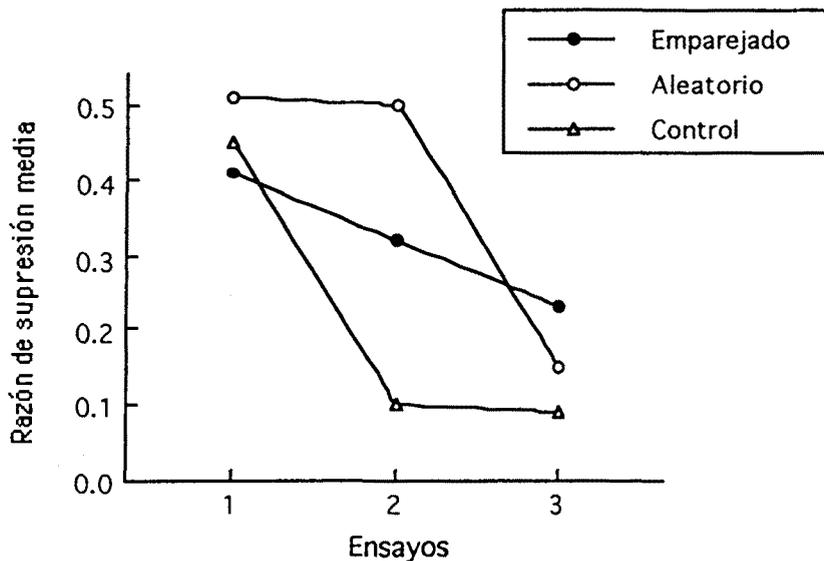


Figura 2.7.- Supresión de la respuesta de presión de palanca ante un tono, en varios grupos de ratas, a lo largo de varias sesiones en que el tono fue emparejado con una descarga eléctrica. Anteriormente, el grupo emparejado recibió emparejamientos del tono con la comida y el grupo aleatorio presentaciones no correlacionadas de ambos eventos, mientras que el de control no fue preexpuesto al tono. (Datos Dickinson, 1976).

Como podemos observar en la Figura 2.7, el grupo de Control, que no fue preexpuesto al tono, aprendió más rápidamente la asociación tono-descarga que el grupo Emparejado, en el que el haber hecho al tono un buen predictor de la comida durante la fase 1, hizo que los animales aprendieran la asociación tono-descarga posterior más lentamente. Este hallazgo puede explicarse desde el modelo de Pearce y Hall, siguiendo el mismo argumento utilizado para explicar los resultados de Hall y Pearce (1979). Sin embargo, el resultado más problemático para el modelo se refiere a la velocidad con que el grupo Aleatorio aprendió en la segunda fase.

Este grupo aprendió más despacio que el grupo de Control, incluso más lentamente que el grupo Emparejado. El problema surge de la consideración del modelo de que la asociabilidad de un estímulo no se pierde cuando éste va seguido de consecuencias inconsistentes y no se esperaría por tanto, un retraso en el condicionamiento excitatorio posterior de los sujetos del grupo Aleatorio. Por otra parte, Baker y Mackintosh (1977) también demostraron que la exposición no correlacionada de un EC y un EI interfería más seriamente en el posterior condicionamiento del EC con el EI que la simple exposición al EC, tanto en un condicionamiento excitatorio como en uno inhibitorio, resultados que como hemos visto no pueden explicarse desde el modelo de Pearce y Hall.

2.2.5.- El modelo de Pearce (1987b)

Una de las características de los modelos de condicionamiento pavloviano que hemos visto hasta ahora (Rescorla y Wagner, 1972; Mackintosh, 1975a; Pearce y Hall, 1980) es la consideración de que cuando se presenta un estímulo compuesto AB, cada uno de los elementos, A y B, se asocian con el EI y que la contribución de cada elemento en la RC es la misma si se presenta solo o en compuesto. Frente a esta posición, las llamadas teorías configurales consideran que cuando se presenta un estímulo compuesto AB, es el estímulo AB en conjunto, el llamado estímulo configural, y no cada uno de sus elementos, el que forma una asociación con el EI.

Pearce (1987b, ver también 1994) asume el punto de vista configural y formula un modelo de condicionamiento clásico en el que la generalización entre los estímulos juega un papel fundamental. La característica principal del modelo, siguiendo a Atkinson y Estes (1963), es la consideración de que los animales poseen un "*buffer*" de capacidad limitada, que está siempre lleno y que representa el ambiente o el patrón global de estimulación en el que se encuentra el sujeto. El principio general del modelo para el aprendizaje asociativo es que siempre que una representación en el *buffer* va seguida de un EI, esta representación sirve como EC, de manera que el sujeto formará una representación de ese EC en la memoria a largo plazo (MLP). La fuerza del vínculo asociativo entre el EC y el EI crecerá con la repetición de los ensayos de condicionamiento y tendrá una influencia directa sobre la RC.

Según el modelo, en cada ensayo de condicionamiento la representación del *buffer* se compara con las representaciones del EC en la MLP. En algunos casos habrá una correspondencia perfecta entre los dos; en otros casos serán diferentes. A mayor similitud mayor será la influencia de la asociación EC-EI en la RC. El parámetro S es el que determinará el nivel de generalización entre un EC y otro. De esta manera, si E_A representa la fuerza excitatoria del estímulo A, la generalización a un estímulo similar A' ($e_{A'}$) vendrá determinada por la

siguiente ecuación:

$$e_{A'} = S_{AA'} \cdot E_A \quad (2.7)$$

Así pues, una característica novedosa de este modelo es que distingue la fuerza excitatoria condicionada de un estímulo y la que recoge mediante generalización de otros estímulos similares.

La representación del estímulo en el *buffer* consiste en una distribución de elementos activados. El modelo considera que la intensidad de un estímulo determina el área que ocupa en el *buffer* y ya que éste es de capacidad limitada, no es la intensidad absoluta del estímulo la que determinará el espacio que ocupa, sino que se determinará en base a la relación de la intensidad de ese estímulo con la de todos los estímulos presentes en la situación. Cuando la representación cambia, también cambia la distribución de los elementos, de forma que cuanto mayor sea el cambio menos elementos en común serán activados; así, el valor de S será más alto cuanto menos cambie el estímulo y viceversa. De esta manera, la similaridad entre dos ensayos donde se presentan A y A' viene determinada por la siguiente ecuación :

$$S_{AA'} = \frac{P_{com}}{P_{\Sigma A}} \cdot \frac{P_{com}}{P_{\Sigma A'}} \quad (2.8)$$

donde P_{com} es la intensidad percibida del estímulo que es común a ambos casos, incluyendo tanto al estímulo contextual como a los elementos que tienen en común A y A' , y $P_{\Sigma A}$ y $P_{\Sigma A'}$ es la intensidad de la estimulación total percibida en los ensayos donde está presente A y A' , respectivamente.

Según el modelo, la fuerza asociativa que gana un estímulo en un ensayo de condicionamiento depende de la discrepancia entre la asíntota de condicionamiento, λ , y de la fuerza asociativa neta del estímulo, E_A , que consiste en la fuerza asociativa del estímulo más la que le viene por generalización de otros estímulos similares ($E_A + e_A$). Este punto de vista se expresa en la siguiente ecuación:

$$\Delta E_A = \beta (\lambda - E_A) \quad (2.9)$$

donde ΔE_A es el incremento en la fuerza excitatoria en un determinado ensayo, β es un parámetro de aprendizaje que está determinado por el reforzador y E_A es la fuerza asociativa neta del estímulo en ese ensayo.

Veámos como este modelo explica el bloqueo: el preentrenamiento con A , hará que A adquiera fuerza excitatoria asintótica. Cuando a los sujetos se les presenta el compuesto, AX ,

habrá una cierta generalización de A a AX, de tamaño $A_{SAX} \cdot E_A$ siguiendo la ecuación 2.7. La discrepancia entre este nivel de fuerza excitatoria generalizada y la asíntota de condicionamiento, λ , permitirá cierto aprendizaje del compuesto AX, que cesará cuando la fuerza asociativa neta del estímulo sea igual a la asíntota, es decir, $E_{AX} + A_{SAX} \cdot E_A = \lambda$. Cuando en la prueba se presenta X solo, habrá cierta generalización de AX a X, de tamaño $A_{XSX} \cdot E_{AX}$. Puesto que E_{AX} será menor en un grupo de bloqueo que en un grupo de control estándar, que no ha sido preentrenado con A, habrá una menor generalización de la fuerza excitatoria de AX a X en este grupo y por tanto, una menor RC en presencia de X que la demostrada por el grupo de control.

Una predicción que se desprende del modelo es que el bloqueo dependerá de las intensidades relativas de A y X. Si A, el elemento preentrenado, es menos intenso que X, el elemento añadido, A_{SAX} será menor, por lo que habrá muy poca generalización de A a AX y por tanto, AX adquirirá mayor fuerza asociativa durante el condicionamiento compuesto; ya que A_{XSX} será relativamente alta, la generalización de AX a X también será considerable, con lo que la RC será igual o semejante a la de un grupo de control sin el entrenamiento previo de A. Por el contrario, si A es mucho más intenso que X, A_{SAX} será alta y por tanto, AX adquirirá poca fuerza asociativa en los ensayos de condicionamiento compuesto; el valor relativamente bajo de A_{XSX} hará que X muestre una RC débil cuando se presente por sí solo. Estas predicciones han sido demostradas empíricamente. De hecho, anteriormente ya habíamos comentado que una de las variables que afecta a la cantidad de bloqueo es la saliencia o intensidad de ambos elementos (Kamin, 1968; Feldman, 1975; Hall, Mackintosh, Goodall y Dal Martello, 1977).

El modelo de Pearce, considera que cuando un estímulo predice un no reforzamiento, se forma una asociación EC-no EI. Según el modelo, en un ensayo no reforzado el valor de λ será 0 y ΔE_A tendrá un valor negativo si el EC posee cierta fuerza excitatoria neta. En lugar de haber un decremento en el valor de E_A , este ensayo dará lugar a un aprendizaje inhibitorio de magnitud ΔI_A , que será igual a la magnitud $|\Delta E_A|$ en ese ensayo. La acumulación de estos incrementos de la fuerza inhibitoria determinará el nivel último de inhibición condicionada del EC, I_A . El modelo asume que la inhibición se generalizará de un estímulo a otro de la misma manera que la excitación. De esta manera, ya que un estímulo puede tener fuerza condicionada excitatoria e inhibitoria y puede igualmente generalizar fuerza excitatoria e inhibitoria, su fuerza asociativa neta vendrá determinada por la diferencia entre estos niveles de excitación e inhibición, que es la que determinará la RC. Esta formulación del aprendizaje inhibitorio, es la que lleva al modelo a hacer predicciones con respecto a la atenuación del bloqueo que no son congruentes con los resultados obtenidos. El modelo no tiene dificultades a la hora de explicar la atenuación del bloqueo por un incremento en λ durante los ensayos compuestos (Kamin, 1969): la discrepancia entre la fuerza excitatoria generalizada (que será la misma que si no hubiera cambiado el EI) y la asíntota de condicionamiento (λ) será mayor, lo que permitirá que el

compuesto adquiera más fuerza excitatoria; cuando se presente el elemento añadido, la generalización de la fuerza excitatoria de AX a X será mayor y por lo tanto, también será mayor la RC. Los problemas del modelo surgen cuando A señala un reforzamiento y AX señala un no reforzamiento. El preentrenamiento con A, hará que A adquiera fuerza excitatoria. Cuando a los sujetos se les presenta el compuesto, AX, habrá una cierta generalización de la fuerza excitatoria de A a AX. Como AX predice un no reforzamiento, la discrepancia entre este nivel de fuerza excitatoria generalizada y la asíntota de condicionamiento, $\lambda = 0$, será negativa, lo que dará lugar a una adquisición de fuerza inhibitoria del compuesto AX, que aumentará hasta que contrarreste la fuerza excitatoria generalizada de A. Cuando en la prueba se presenta X solo, habrá cierta generalización de la fuerza inhibitoria de AX a X, por lo que el modelo predice un mayor bloqueo en esta situación, contrariamente a los hallazgos empíricos que indican una atenuación del bloqueo (Kamin, 1969). El modelo se encuentra un problema similar con la atenuación del bloqueo producido por la sorpresa de omitir una segunda descarga (Dickinson et al. 1976). De hecho, el mismo Pearce (1987b, pg.67) reconoce que su modelo no puede explicar todos los resultados obtenidos de los estudios de bloqueo.

2.2.6.- Fallo en la recuperación.

Las teorías que hemos visto hasta ahora coinciden en explicar el fenómeno del bloqueo mediante un déficit en la adquisición, que puede atribuirse a un descenso en la asociabilidad del estímulo (Mackintosh, 1975a; Pearce y Hall, 1980) o a una reducción de la habilidad del EI para iniciar el procesamiento necesario para que se formen las asociaciones (Rescorla y Wagner, 1972) o a un decremento de la generalización (Pearce, 1987b). El factor común de todas estas explicaciones es que la RC menor que se observa al elemento añadido en un paradigma de bloqueo, se debe a una asociación débil entre el EC y el EI. Sin embargo, recientemente ha aparecido una explicación alternativa que considera que el bloqueo no se debe a un déficit en la adquisición sino a un fallo en la recuperación (Balaz, Gutsin, Cacheiro y Miller, 1982).

Basándose por una parte en la investigación de Sharp, James y Wagner (1980), quienes mostraron que además del bloqueo de un condicionamiento excitatorio ocurrió una habituación del elemento añadido, X, como resultado de su presentación durante los ensayos compuestos, y por otra parte, en las investigaciones que demuestran que se forman asociaciones entre los dos elementos del compuesto, asociaciones intra-compuesto, en la segunda fase de un paradigma de bloqueo (Rescorla y Durlach, 1981), Balaz, Gutsin, Cacheiro y Miller (1982) sostuvieron que un estímulo bloqueado es procesado a algún nivel en los ensayos compuestos y que el bloqueo ha podido producirse no por un fallo en la adquisición de la asociación X-EI, sino por un fallo en la recuperación de estas asociaciones. Según estos autores, si el bloqueo es un resultado de un fallo en la recuperación, debería ser posible demostrar la existencia de asociaciones X-EI después de

varios ensayos compuestos. Una técnica muy utilizada en este tipo de investigación ha sido la presentación de un "recordatorio" antes de la fase de prueba, una técnica que se ha demostrado que es útil para la recuperación de asociaciones en otras situaciones (Miller y Springer, 1973; Miller y Schachtman, 1985; Spear, 1973). El recordatorio consiste en la presentación de alguna fracción del evento originalmente aprendido, con la consecuencia teórica de que reactivará en la memoria la huella completa y por tanto, aumentará la actuación en la prueba posterior.

Balaz, Gutsin, Cacheiro y Miller (1982) pusieron a prueba la predicción anterior utilizando un procedimiento de supresión condicionada en ratas. Como puede observarse en la Tabla 2.8, las fases 1 y 2 fueron las fases típicas de un diseño de bloqueo, donde a todos los sujetos se les presentó primero un tono seguido de una descarga y después un compuesto del tono y una luz seguido de la descarga. En la fase 3, se presentó un recordatorio consistente en la presentación del EI (grupo R-EI), la presentación del EC añadido (grupo R-L) - ambos en un aparato distinto al de las fases previas- o la presentación de la claves contextuales (grupo R-A). En esta fase, el grupo de bloqueo (B) no recibió ningún recordatorio. Posteriormente, a todos los sujetos se les puso a prueba con la luz, midiéndose el tiempo que tardaban los sujetos en completar 25 lameteos en presencia de la luz. Si la ausencia de supresión del estímulo añadido es debido a un fallo en la recuperación de las asociaciones de este estímulo en el ensayo de prueba, los recordatorios deberían aumentar la recuperación y por tanto, debería esperarse una mayor supresión ante la luz. Si por el contrario, el bloqueo es debido a un fallo en la adquisición de las asociaciones del estímulo bloqueado, la consecuencia de los recordatorios debería de ser mínima.

Tabla 2.8. Balaz, Gutsin, Cacheiro y Miller (1982)

Grupos	Fase 1	Fase 2	Fase 3	Prueba
B	T → d	T+L → L	—	L
R-A	T → d	T+L → L	Aparato	L
R-L	T → d	T+L → L	L	L
R-EI	T → d	T+L → L	d	L

La Figura 2.8 muestra los resultados de la prueba. Como podemos observar los sujetos del grupo B mostraron una latencia menor (menos supresión) que los sujetos de los otros tres grupos. Los resultados mostraron que el recordatorio atenuó el efecto del bloqueo.

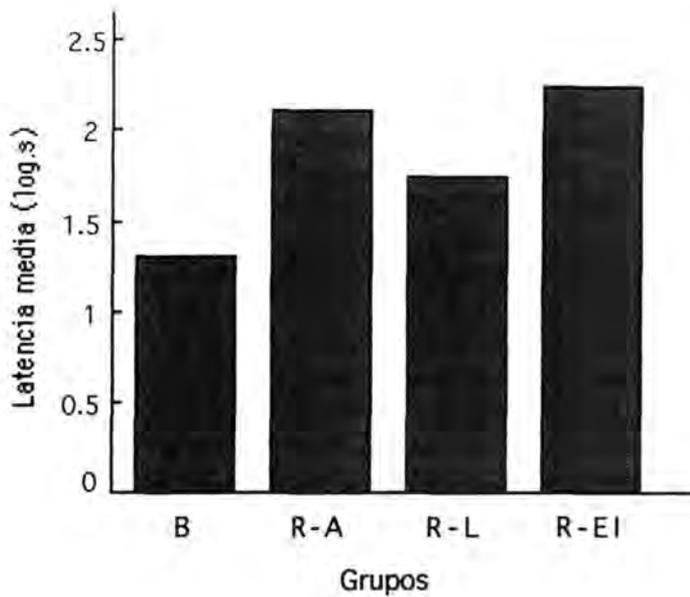


Figura 2.8.- Latencia media (log. s) para completar 25 lameteos ante una luz, en varios grupos de ratas expuestas al procedimiento de bloqueo resumido en la Tabla 2.8. (Datos de Balaz et al., 1982).

Schachtman, Gee, Kasproy y Miller (1983) también encontraron atenuación del efecto del bloqueo utilizando el recordatorio del elemento añadido en un experimento de supresión condicionada en ratas. Cabe destacar que en los resultados de estos experimentos hemos hablado de una atenuación del bloqueo y no de una eliminación de dicho efecto. En ambas investigaciones, los grupos que recibieron un recordatorio no llegaron a mostrar tanta supresión ante el elemento añadido como la que mostró un grupo de control sin el previo entrenamiento con el estímulo solo. Como señalaron Balaz et al. (1982), si esto es debido a que los recordatorios no realizan una recuperación total o si además de un fallo en la recuperación (reversible) hay también un fallo en la adquisición (irreversible), es una cuestión que queda por investigar.

La hipótesis del fallo en la recuperación ha sido aplicada últimamente a otros paradigmas del condicionamiento y principalmente al fenómeno de la inhibición latente (Bouton, 1991; Kraemer y Roberts, 1984). Unido a esto, existe actualmente un interés creciente sobre el papel que juega el contexto en la recuperación durante el proceso de condicionamiento. Sin embargo, aún no se ha desarrollado ninguna teoría formal que pueda aplicarse a todos los fenómenos del condicionamiento.

3.- EL APRENDIZAJE ESPACIAL

Cómo los animales aprenden a ir a determinados lugares y qué estrategias utilizan para encontrar una meta oculta, son cuestiones que han tenido un interés creciente desde principios de siglo. Principalmente, dos áreas de investigación han contribuido a este interés. Por un lado, los estudios de campo sobre la navegación de varias especies de animales, mayoritariamente pájaros, como los trabajos de "homing" (retorno al nido) y de la emigración de los pájaros de Watson y Lashley (1915), que culminó en la "hipótesis del mapa y la brújula" de Kramer (1953). Por otra parte, están los trabajos realizados en los ambientes artificiales de los laboratorios sobre el aprendizaje espacial, iniciado por Tolman (1932, 1948) en laberintos simples y complejos (para una revisión, ver Chamizo, 1990). Es en este último campo donde se inserta la investigación de esta tesis y desde un nivel de análisis puramente conductual.

En los estudios sobre el comportamiento espacial en ambientes artificiales de laboratorio, el sujeto por excelencia ha sido la rata y los laberintos el aparato más utilizado. El laberinto más simple, es el laberinto en forma de T (ver Figura 3.1). La situación más común es colocar el laberinto en medio de una habitación que está llena de objetos, puntos de referencia o claves extralaberinto (ventanas, cortinas, sillas, puertas, etc.). El laberinto tiene tres brazos, uno con una caja de salida (CS) y dos con cajas-meta (CM), una de las cuáles contiene siempre comida (CM+) y la otra no (CM-). Cuando se introduce a una rata hambrienta en el laberinto, la conducta típica que se observa es que primero explora y cuando llega al punto de elección, vacila y finalmente elige uno de los dos brazos. A medida que se realizan más ensayos de entrenamiento, puede observarse que el animal acaba corriendo directamente hacia la caja-meta donde se encuentra la comida.

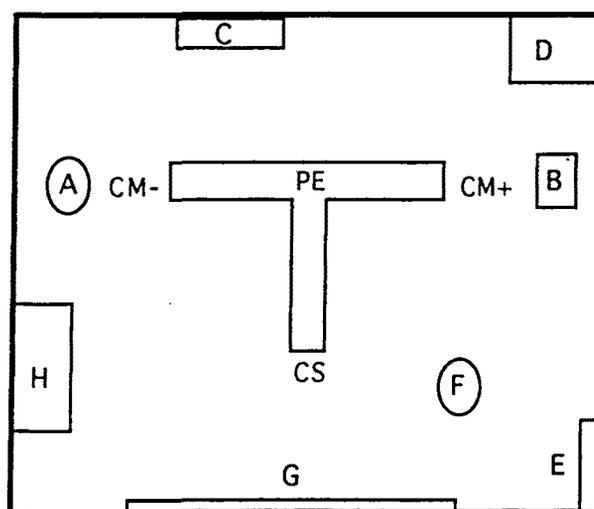


Figura 3.1.- Representación esquemática de un laberinto en forma de T; CS = caja de salida; CM+ = caja-meta reforzada; CM- = caja-meta no reforzada; PE = punto de elección; A y B son objetos distintivos situados inmediatamente detrás de las cajas-meta y C,D,E,F,G y H son puntos de referencia o claves extralaberinto de la habitación.

Aunque la conducta típica de una rata en un laberinto era clara y manifiesta, muchas disputas se concentraron en qué es lo que el animal había aprendido cuando corría directamente hacia la CM+.

3.1.- APRENDIZAJE DE RESPUESTA Y APRENDIZAJE DE LUGAR

Las primeras investigaciones llevadas a cabo en laberintos dieron lugar a dos posturas diferentes a la hora de explicar cómo los animales conseguían aprender a ir directamente hacia la CM+.

Según Hull (1943), lo que la rata aprende es a realizar una determinada respuesta, como por ejemplo un giro de 90° a la derecha en el punto de elección, ya que esta respuesta va seguida de comida. Según Tolman (1932,1948), lo que la rata aprende es a asociar la CM+ con comida y la CM- con su ausencia. En ambos casos se dice que la rata se ha condicionado, pero mientras que para Hull se trataría de un condicionamiento instrumental (las ratas asocian respuestas y recompensas), para Tolman se trataría de un condicionamiento clásico (las ratas aprenden asociaciones entre lugares y recompensas).

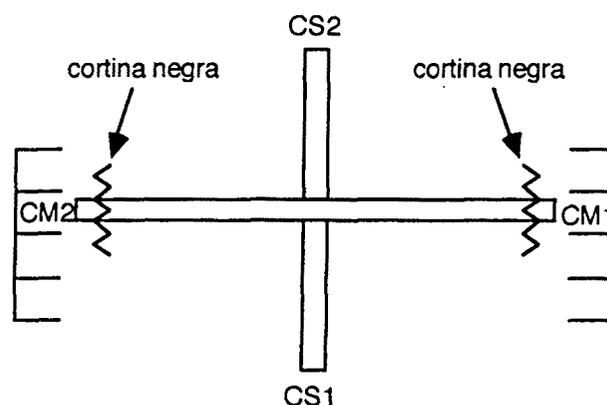


Figura 3.2.- Laberinto en forma de cruz utilizado por Tolman, Ritchie y Kalish (1946b). CS1 y CS2 = cajas de salida; CM1 y CM2 = cajas-meta.

La controversia aprendizaje de respuesta versus aprendizaje de lugar dió lugar a un gran número de investigaciones diseñadas con el objetivo de proporcionar una respuesta inequívoca a esta cuestión. Una de estas investigaciones fue la llevada a cabo por Tolman, Ritchie y Kalish (1946b). Estos investigadores utilizaron un laberinto en forma de cruz (Figura 3.2), con dos cajas-meta (CM1 y CM2) y dos cajas de salida (CS1 y CS2). Utilizaron dos grupos de ratas que

denominaron grupo de aprendizaje de respuesta y grupo de aprendizaje de lugar. Cuando los animales del grupo de aprendizaje de respuesta salían de la CS1, la comida se encontraba siempre en la CM1; cuando salían de la CS2, la comida se encontraba siempre en la CM2. De esta manera, los animales de este grupo tenían que aprender a girar siempre a la derecha en el punto de elección para encontrar la comida, tanto si empezaban de la CS1 como de la CS2. Contrariamente, los sujetos del grupo de aprendizaje de lugar, independientemente de donde salieran, tenían que aprender a ir siempre al mismo lugar de la habitación. Así por ejemplo, si la comida se encontraba en la CM1, estos animales tenían que hacer un giro a la derecha cuando salían de la CS1 y un giro a la izquierda cuando salían de la CS2.

En la Figura 3.3 se muestran las curvas de error de ambos grupos. Como puede observarse, el grupo de aprendizaje de lugar aprendió mejor y más rápidamente que el grupo de aprendizaje de respuesta. Los resultados de este experimento demostraron que aunque los animales podían aprender a resolver la tarea en base a ambas estrategias, la que consistía en ir a un determinado lugar era más fácil que la que consistía en realizar una determinada respuesta.

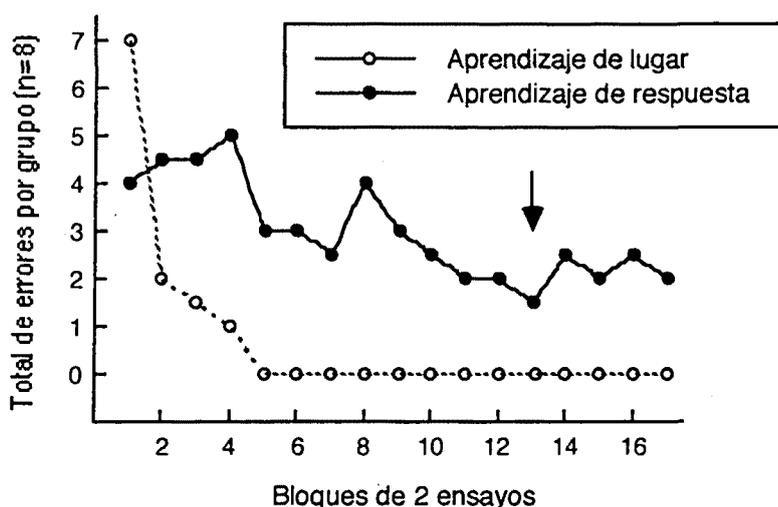


Figura 3.3.- Resultados del experimento de Tolman y cols. (1946b). La gráfica muestra el número de errores en función de los ensayos (bloques de dos ensayos). El grupo de aprendizaje de lugar cometió menos errores que el grupo de aprendizaje de respuesta. La flecha indica el ensayo en el que se rotó 180° el laberinto a los sujetos del grupo de aprendizaje de lugar. Tomado de Tolman, Ritchie y Kalish (1946b).

Sin embargo, Tolman y cols. (1946b) consideraron que sus resultados podían interpretarse en base a claves intralaberinto, es decir, claves intrínsecas y diferenciadoras de ambos brazos y que conducen a la CM+ y a la CM- (como por ejemplo, la disposición de los

nudos de la madera de los brazos). De esta forma, los sujetos del grupo de aprendizaje de lugar podían aprender más rápidamente porque, independientemente de donde salieran, sólo tenían que aprender un trayecto, mientras que los sujetos del grupo de aprendizaje de respuesta tenían que aprender dos trayectos distintos en función de qué caja de salida salían. Para demostrar que los animales no aprendían en base a claves intralaberinto, Tolman y cols. realizaron una prueba en el ensayo 13, que consistió en rotar el laberinto 180° para los sujetos del grupo de aprendizaje de lugar. Si los sujetos de este grupo realmente habían aprendido en base a claves intralaberinto, en este ensayo deberían ir a la CM-, puesto que era el mismo brazo que anteriormente llevaba a la CM+. Sin embargo, como podemos observar en la Figura 3.3, estos investigadores no encontraron ningún cambio en la actuación de estos sujetos en ese ensayo; las ratas eligieron el brazo correcto, lo que indicó que su actuación era completamente independiente de las claves intralaberinto. Estos resultados confirmaron la idea de Tolman y cols. (1946b) de que las claves que los sujetos utilizan para localizar un determinado lugar son, fundamentalmente, claves extralaberinto.

Por otra parte, la manera más sencilla de diferenciar entre el aprendizaje de respuesta y el de lugar, una vez los sujetos han aprendido a ir directamente a la CM+ en un laberinto en forma de T, es realizar una prueba que consiste en rotar el laberinto 180°, ubicando el brazo de salida en sentido opuesto (ver Figura 3.4). Si los animales han aprendido a realizar una determinada respuesta, un giro a la derecha en nuestro ejemplo, ahora irán a la CM-; en cambio, si los animales han aprendido a ir a un determinado lugar, concretamente a la CM+, continuarán dirigiéndose a la CM+ aunque implique un giro contrario al realizado hasta ahora en el punto de elección. Este tipo de experimento se ha realizado en muchas ocasiones como una prueba entre las dos clases de explicaciones (ver Restle, 1957). Sin embargo, los resultados no han sido concluyentes: aunque el hallazgo más frecuente ha sido que los animales siguen eligiendo la caja-meta reforzada inicialmente, apoyando el aprendizaje de lugar, ha habido excepciones en las que predomina el aprendizaje de respuesta, o incluso situaciones en las que no se hallaron diferencias.

Una explicación definitiva fue dada por Restle (1957), según el cual la controversia entre aprendizaje de respuesta y lugar estaba mal formulada y no debía buscarse una explicación inequívoca a favor de una u otra. Restle (1957) propuso que los animales son capaces de utilizar una gran variedad de claves, estímulos y/o señales para encontrar la CM+ y que el tipo de aprendizaje que puede realizar una rata en un laberinto depende de sus capacidades sensoriales y de la naturaleza y relevancia de las claves disponibles. Así, el aprendizaje de lugar o condicionamiento clásico predomina cuando existen claves diferenciadoras intra- y extralaberinto y la habitación está bien iluminada (por ejemplo, Tolman, Ritchie y Kalish, 1946b), pero si estas claves son poco discriminables o la iluminación es pobre (por ejemplo, Blodgett y McCutchan, 1948), entonces predomina el

aprendizaje de respuesta o condicionamiento instrumental.

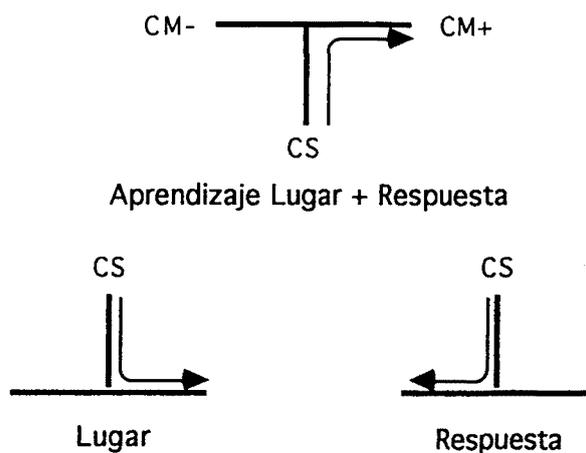


Figura 3.4.- Predicciones de la actuación de los animales según el aprendizaje de lugar (izquierda, abajo) y el aprendizaje de respuesta (derecha, abajo). En la primera fase se entrena a los animales a ir al mismo lugar dando siempre la misma respuesta (centro arriba). En la fase de prueba se rota el laberinto 180°. Si durante la primera fase han aprendido a acercarse a la CM+, continuarán yendo al brazo anteriormente reforzado, a pesar de que tengan que dar un giro a la izquierda. Si han aprendido a dar una respuesta, continuarán dando la misma respuesta, aunque les lleve al brazo no reforzado durante la fase previa.

3.1.1.- El mapa cognitivo de Tolman (1948)

Tolman (1932, 1948) defendía la hipótesis de que las ratas llegaban al lugar donde estaba la CM+ valiéndose de un "mapa cognitivo" de la habitación experimental. Este mapa incluiría rutas, trayectos y relaciones espaciales, que son los que determinarían la conducta del animal.

Tolman (1948) considera que los mapas pueden variar desde un mapa de listado limitado a un mapa comprensivo más amplio. En un mapa de listado la posición del animal está conectada con la posición de la caja-meta por un trayecto relativamente simple, mientras que en un mapa comprensivo se representa ampliamente el entorno, de manera que el animal podrá disponer de varios trayectos alternativos. Aunque ambos tipos de mapa permitirán al animal llegar a la CM+, la diferencia entre ellos aparecerá cuando haya un cambio en el entorno, como un cambio en la caja de salida o variaciones en la ruta específica que ha llevado hasta la CM+ anteriormente. En estas situaciones, el mapa de listado será insuficiente puesto que sólo dispone de un trayecto y estos cambios dificultarán el que el animal encuentre la CM+; por el contrario, el mapa comprensivo, mucho más amplio, aún permitirá al animal llegar hasta la CM+ a pesar de los cambios, ya que podrá encontrar trayectos alternativos.

Para demostrar esta hipótesis, se llevaron a cabo una serie de experimentos en los que se bloqueaba el camino que hasta aquel momento había llevado a la CM+, forzando a los animales a elegir trayectos alternativos como prueba del uso del mapa cognitivo. Uno de estos experimentos fue el de Tolman, Ritchie y Kalish (1946a). Durante la fase de entrenamiento, los animales aprendieron a encontrar comida en un laberinto como el que se muestra en la Figura 3.5 (A). Después de 12 ensayos de entrenamiento, las ratas habían aprendido a correr directamente desde A, siguiendo la trayectoria BCDEF, hasta G, lugar donde se encontraba la comida. Tras el entrenamiento, se situó a los animales en un laberinto distinto (Figura 3.5 (B)), en el que el camino original hacia la comida estaba bloqueado y se presentaban 18 caminos alternativos. En esta situación, las ratas corrían directamente hacia el trayecto previamente aprendido, pero al encontrarlo cerrado, volvían a la plataforma central y elegían otro trayecto. Los resultados mostraron que la mayoría de los sujetos escogieron el trayecto nº 6 (36% de los sujetos), que apuntaba a un lugar muy próximo al que anteriormente habían encontrado la comida. El otro brazo elegido con cierta frecuencia fue el nº 1 (17% de los sujetos), que apuntaba perpendicularmente a la pared de la habitación donde habían encontrado la comida anteriormente. Estos resultados indican que las ratas no sólo habían aprendido a llegar a la meta por el trayecto original, sino también que fueron capaces de seleccionar un trayecto alternativo que apuntaba en dirección a la comida, o al menos perpendicularmente al lado de la habitación donde estaba la comida, cuando el trayecto original fue bloqueado. Tolman concluyó que en el entrenamiento, las ratas habían adquirido no meramente un mapa de listado del trayecto específico que llevaba a la comida, sino más bien un mapa comprensivo más amplio del lugar donde estaba la comida con respecto a la habitación.

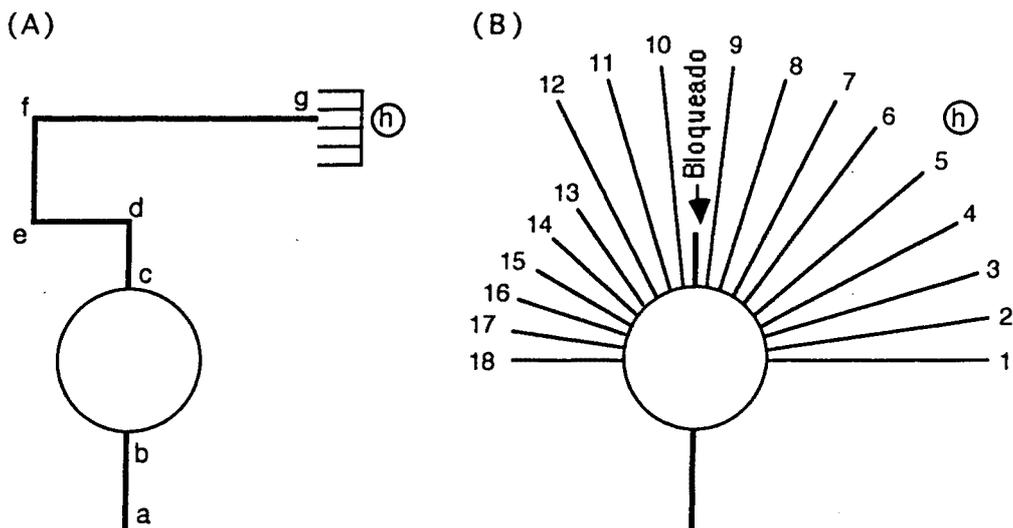


Figura 3.5.- (A) Diagrama esquemático del aparato empleado en el entrenamiento preliminar en el experimento de Tolman, Ritchie y Kalish (1946a). (B) Diagrama esquemático del laberinto solar empleado por estos investigadores en la fase de prueba.

El concepto de mapa cognitivo en Tolman refleja su idea de que el aprendizaje consiste en la adquisición de información acerca del entorno y que además, es posible adquirir conocimiento sobre las características espaciales de un ambiente específico simplemente explorando ese ambiente, considerando por tanto que el reforzamiento no es necesario para la formación de un mapa cognitivo. Así pues, Tolman distinguía entre aprendizaje y actuación: una vez se ha adquirido la información, los animales la pueden utilizar para obtener comida si están hambrientos.

Una demostración de tales afirmaciones la encontramos en los experimentos de "aprendizaje latente" (Blodgett, 1929; Tolman y Honzik, 1930). Blodgett (1929) llevó a cabo un experimento en un laberinto de múltiples elecciones como el que se muestra en la Figura 3.6. Utilizó tres grupos de ratas, dos grupos experimentales y uno de control. Todos los animales recibieron un ensayo diario que consistía en ir desde la caja de salida (CS) hasta la caja-meta reforzada (CM+). Los animales del grupo de control (Grupo 1) encontraban comida siempre cuando llegaban a la CM+. Sin embargo, los sujetos de un grupo experimental (Grupo 2) no encontraron comida en la CM durante los seis primeros días y los del otro grupo experimental (Grupo 3), no encontraron comida durante los dos primeros días.

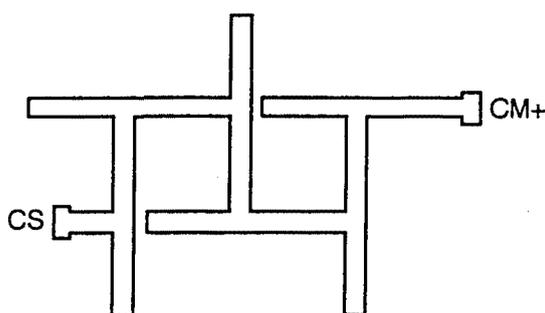


Figura 3.6.- Laberinto complejo de 6 unidades utilizado por Blodgett (1929).

La Figura 3.7 muestra el promedio del número de errores de cada grupo. Como podemos observar, los sujetos del grupo de control (Grupo 1) disminuyeron muy rápidamente el número de errores. Contrariamente, los grupos experimentales (Grupos 2 y 3) no parecían aprender mucho durante los días que no tuvieron comida. Sin embargo, el número de errores descendió rápidamente en estos sujetos en los ensayos posteriores a la primera vez que encontraron comida, desapareciendo las diferencias con el grupo de control. Estos resultados sugieren que los animales aprendieron durante los ensayos no reforzados mucho más de lo que su actuación demostraba. Este aprendizaje, que no se manifestó hasta la introducción de la comida, Blodgett lo denominó aprendizaje latente. Los animales habían estado almacenando un

mapa y lo utilizaron tan pronto como fueron motivados para hacerlo.

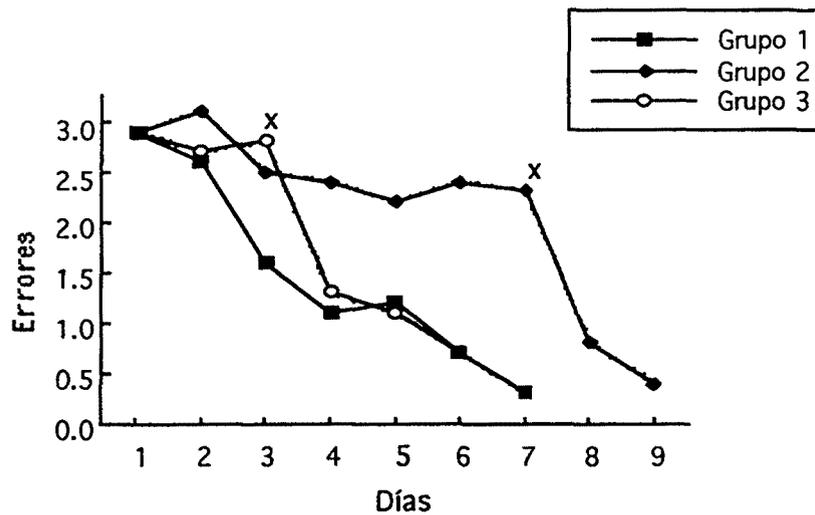


Figura 3.7.- Resultados del experimento de Blodgett (1929). La gráfica muestra las curvas de errores del grupo de control (Grupo 1) y los dos grupos experimentales (Grupo 2 y Grupo 3). Las cruces indican el primer día que recibieron comida los animales de los grupos experimentales.

También Tolman y Honzik (1930) demostraron que un animal podía aprender mediante la exploración no reforzada a un laberinto de forma que, cuando posteriormente se introducía la recompensa, su actuación era mejor que la de las ratas que no habían sido familiarizadas con el laberinto y algunas veces, tan buena como la de las ratas que previamente habían recibido muchos ensayos reforzados.

La explicación de Tolman del fenómeno del aprendizaje latente era que las ratas, a medida que corrían por el laberinto, se hacían un mapa de las relaciones espaciales entre los diversos puntos de referencia o claves extralaberinto, localizando la caja-meta reforzada con respecto a la relación que mantenía con dichas claves extralaberinto. Sin embargo, Tolman nunca explicó cuáles eran las propiedades concretas de los mapas cognitivos y esto supuso un descrédito gradual de su teoría (O'Keefe y Nadel, 1978).

3.2.- APRENDIZAJE TÁXICO Y APRENDIZAJE CARTOGRÁFICO

Contrariamente a la diferenciación tradicional del aprendizaje espacial entre aprendizaje

de lugar y aprendizaje de respuesta, O'Keefe y Nadel (1978) distinguen dos tipos de estrategias o aprendizajes : las estrategias táxicas y la estrategia cartográfica.

El aprendizaje táxico se refiere tanto a tareas que se adquieren por condicionamiento instrumental como a las que se aprenden por condicionamiento clásico y, a su vez, se divide en dos tipos de estrategias: de orientación y de guía. La estrategia de orientación implica la realización de una determinada respuesta para llegar a la CM+. La estrategia de guía implica la aproximación a una determinada clave (guía) para llegar a la CM+.

Por otro lado, la estrategia o aprendizaje cartográfico requiere la formación de un mapa cognitivo espacial de la habitación experimental o del medio ambiente en el que se encuentra el sujeto.

Si una rata resuelve un problema espacial en el laberinto en forma de T mediante una estrategia de orientación, el animal aprenderá a realizar una determinada respuesta en el punto de elección. Este aprendizaje requiere que la comida se presente siempre en el mismo brazo (derecho o izquierdo) y que se mantenga el laberinto en una habitación totalmente homogéna, sin claves intra o extralaberinto. Claramente, podemos identificar la estrategia de orientación con el aprendizaje de respuesta de Hull.

Si una rata resuelve un problema en un laberinto en forma de T mediante la estrategia de guía, está aprendiendo a acercarse a unas claves específicas que suelen ser intralaberinto. Esto requiere que los dos brazos-meta tengan alguna clave distintiva que los haga diferentes (por ejemplo, la CM+ puede tener el suelo de caucho negro y la CM- de papel de lija granate). Esta estrategia puede utilizarse también si existen claves extralaberinto discriminables y distintivas cerca de cada una de las cajas-meta (como por ejemplo, los objetos A y B en la Figura 3.1). En ambos casos, los sujetos aprenderán a ir a la CM+ mediante el condicionamiento de respuestas de acercamiento y evitación a estas características distintivas, con independencia de su posición.

Si una rata resuelve un problema espacial en el laberinto en forma de T mediante el aprendizaje cartográfico, se forma un mapa cognitivo de las relaciones espaciales de los distintos objetos de la habitación (puntos de referencia o claves extralaberinto) y define la CM+ en función de su localización espacial con respecto al conjunto de los distintos objetos de la habitación.

Como señala Mackintosh (1983), Tolman habría considerado el aprendizaje de guía y el aprendizaje cartográfico como aprendizajes de lugar. Recordemos que para Tolman (1948) el concepto de mapa cognitivo incluye desde mapas de listado hasta mapas comprensivos;

probablemente, el aprendizaje de guía se podría identificar con el mapa de listado y el aprendizaje cartográfico con el mapa comprensivo. Contrariamente, O'Keefe y Nadel consideran que la noción tradicional del aprendizaje de lugar de Tolman confunde dos formas diferentes de aprendizaje. Aunque ambas estrategias, la de guía y la cartográfica, llevarían al animal a una elección de lugar en un laberinto en forma de T, el modo de solución sería diferente. Mientras que el aprendizaje de guía requeriría la aproximación a las características definitorias de la CM+ con independencia de su localización en el entorno experimental, el aprendizaje cartográfico requeriría la construcción de un mapa cognitivo en el que la CM+ estaría definida por la relación que mantuviese con los puntos de referencia o claves extralaberinto presentes en la habitación experimental.

En definitiva, O'Keefe y Nadel (1978) consideran que el aprendizaje táxico y el cartográfico representan dos modos diferentes, y presumiblemente independientes, de resolver un problema. Estos investigadores caracterizan el aprendizaje táxico como asociativo o incremental mientras que al aprendizaje cartográfico lo consideran de todo-o-nada y los identifican con estructuras distintas del cerebro, siendo el hipocampo la estructura cerebral que gobernaría el aprendizaje cartográfico

3.2.1.- El mapa cognitivo de O'Keefe y Nadel (1978)

Aunque estos investigadores basan la formulación del concepto de mapa cognitivo estrictamente a partir de datos neuronales (concretamente, en la activación de unas determinadas neuronas que se encuentran en el hipocampo, denominadas "células de lugar"), han elaborado una teoría muy compleja que incluye aspectos concretos de la formación y reajuste de los mapas y de su uso. O'Keefe y Nadel (1978) definen el "mapa cognitivo" como "la representación de un conjunto de lugares, relacionados unos con otros mediante un grupo de reglas de transformación espacial" (pg. 86).

Según estos investigadores, la conducta exploratoria es la conducta que inicialmente permite construir y posteriormente reajustar los mapas cognitivos¹. Cuando un animal entra

¹ Aunque estos investigadores ponen mucho énfasis en la conducta exploratoria, no queda claro si ésta es absolutamente necesaria, principalmente cuando hay cambios ocasionales en el ambiente. Por un lado afirman que "cuando hay un desajuste entre algún input sensorial para una representación de lugar y el input sensorial predicho, un conjunto de detectores de "discrepancia" se activa, el output del cuál activa y dirige los sistemas motores implicados en la exploración. Esta conducta se dirige hacia la incongruencia y la nueva información se incorpora en el mapa " (pg. 94). Por otro lado afirman que " el mapa es responsable de la sensibilidad del animal para la novedad en su entorno, pero al mismo tiempo le capacita para actuar (en el sentido molar del término) de una manera consistente a pesar de los cambios ocasionales en el entorno ya que la alteración de cualquier característica particular del entorno no destruye la utilidad del mapa en la identificación de lugares" (pg. 95). No queda claro si cuando hay un cambio en el entorno se activa o no la conducta exploratoria.

en un entorno nuevo, se forma una representación de las relaciones espaciales que mantienen los puntos de referencia o claves extralaberinto que percibe desde su posición. Esta representación es una representación de lugar. A partir de esta representación inicial, y a medida que el animal se desplaza por el entorno, se van incorporando nuevas representaciones de lugar en el mapa cognitivo¹. De esta forma, cualquier representación de lugar puede tomarse como una parte de un mapa cognitivo o un mapa puede ser visto como un conjunto de lugares ordenados y conectados. Veámoslo más detalladamente.

Las representaciones de lugar se incorporan en el mapa cognitivo a medida que el animal se desplaza por un determinado entorno. Esto ocurriría gracias a la información procedente de los sistemas sensoriales y motores respecto a las distintas distancias que el animal percibiría; estos sistemas son los que permiten al sujeto representarse el espacio de forma relativa, con referencia a él mismo. A este espacio O'Keefe y Nadel lo denominan espacio relativo o egocéntrico. Cuando un animal se desplaza, la relación entre los objetos cambia. Por ejemplo, un sujeto que se encuentra en el punto x de la Figura 3.8 verá el objeto A delante del objeto B y el objeto C situado lejos y a la izquierda, pero si se desplaza al punto x', la relación entre A y B se invertirá (A estará detrás de B) y C se situará cerca y a la derecha. Lo importante para O'Keefe y Nadel es que cada representación del espacio egocéntrico se incorporará como una representación de lugar en el espacio cartográfico, en el que la representación del espacio es absoluta, innata y sigue una métrica euclídeana. El espacio cartográfico o absoluto se refiere a la noción de marco de referencia en el que están situados los objetos materiales y se concibe como teniendo existencia propia e independiente de los objetos en general. Por tanto, los objetos que contiene se localizan en relación a los lugares del marco de referencia y sólo se relacionan espacialmente con otros objetos de manera indirecta, a través de este marco de referencia. En el ejemplo de la Figura 3.8, las relaciones de los objetos A, B, C y D se establecerán en base al marco de referencia (por ejemplo, la habitación experimental) y con independencia del organismo. Los objetos están localizados en el espacio cartográfico pero no lo definen, de tal manera que si eliminamos un objeto el espacio sigue siendo el mismo. Además, las conductas motoras que realiza el animal cuando se mueve por el entorno tampoco se representan en el mapa, tan sólo son instrumentales en la construcción del mapa.

Según O'Keefe y Nadel, la conducta exploratoria continúa hasta que toda la información del

¹ O'Keefe y Nadel exponen que "la continuación de la historia del mapa cognitivo requiere que volvamos al campo en vías de expansión de la percepción ambiental ... para explorar las formas de conceptualizar espacios demasiado vastos para ser experimentados de un solo vistazo" (pg. 74). Realmente, estos investigadores no tratan con espacios que pueden ser experimentados de un solo vistazo, lo que nos plantea el problema de si una única representación de lugar (es decir, una representación de las relaciones espaciales que mantienen los puntos de referencia o claves extralaberinto que el sujeto percibe desde su posición) puede ser considerada o no como un mapa cognitivo.

entorno se haya incorporado en el mapa. Sin embargo, si se introduce algún cambio en la disposición de los puntos de referencia del entorno, habrá una discrepancia entre lo que el sujeto percibe y lo que está representado en su mapa y la conducta exploratoria se reactivará hasta que la nueva información se reajuste dentro del mapa (una demostración de estas afirmaciones la podemos encontrar en Poucet, Chapuis, Durup y Thinus-Blanc, 1986).

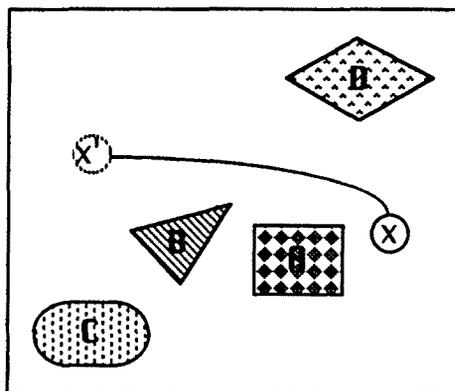


Figura 3.8.- Representación esquemática de los espacios egocéntrico y cartográfico en la teoría de O'Keefe y Nadel (1978). El punto X representa la situación del animal en un momento dado. El punto X' el lugar al que se desplaza. En el espacio egocéntrico, se alteran las relaciones entre los objetos ya que éstas se establecen en relación al animal. En el espacio cartográfico, estas relaciones no se alteran ya que son independientes de la posición del animal.

Hasta aquí hemos visto cómo se construye un mapa cognitivo según O'Keefe y Nadel. Veámos ahora cómo lo utilizan los animales para localizar un lugar concreto. Cuando un animal se introduce en un ambiente determinado, lo primero que debe hacer es localizar el lugar en el que se encuentra y su orientación respecto al mapa. Una vez situado, el siguiente paso consiste en localizar el lugar de destino y calcular la dirección desde el lugar en el que se encuentra. Finalmente sólo le queda escoger el camino más apropiado, generalmente el más corto.

Según O'Keefe y Nadel (1978), una representación de un lugar puede activarse de dos maneras: externamente - por la ocurrencia simultánea de dos o más entradas sensoriales (es decir, la identificación de algunos puntos de referencia que pueden ser vistos u oídos) con las coordenadas espaciales apropiadas en el espacio egocéntrico, lo que permitirá al animal localizar el lugar donde se encuentra - o internamente - mediante otra representación de lugar, que junto con una señal del sistema motor concerniente a la magnitud y orientación de un

movimiento, permitirá al animal localizar el lugar y la dirección de destino -. En una representación de un lugar que se activa externamente, los puntos de referencia juegan un papel importante. Cuando un animal está en un determinado lugar, los puntos de referencia que percibe tendrán una determinada relación espacial, lo que le permitirá localizar el lugar en el que se encuentra y su orientación respecto al mapa. Estos puntos de referencia tienen dos propiedades importantes. La primera es que no es necesario ningún punto de referencia en particular para ubicar al sujeto en el mapa; cualquier punto de referencia o grupo de puntos de referencia, pueden ser eliminados sin impedir que los restantes puedan indicar, por sus relaciones, un lugar particular (O'Keefe y Conway, 1978). Esta propiedad es la que marca la diferencia entre el aprendizaje de guía y el aprendizaje cartográfico. En el aprendizaje de guía, una clave o grupo de claves son los que determinarán un lugar determinado. Si se elimina esa clave o grupo de claves, el sujeto será incapaz de localizar ese determinado lugar, mientras que la ubicación en un mapa cognitivo no requiere la presencia de ninguna clave en particular. El mapa cognitivo contiene una gran cantidad de información redundante. La segunda propiedad es que las relaciones espaciales entre un conjunto de puntos de referencia son únicas y permanecen constantes tanto cuando el animal se encuentra parado en un lugar como si se desplaza por el mismo. Una vez el animal se ha situado, el siguiente paso consiste en localizar el lugar de destino y calcular la dirección desde el lugar en el que se encuentra. Esto es posible por la continuidad del espacio cartográfico, que permite que una representación de un lugar pueda activar internamente a otra representación de lugar. Cuando un animal está en un entorno familiar, la activación de una representación de lugar le permitirá predecir qué aparecerá y en qué lugar, sin necesidad de desplazarse por el entorno ni percibir directamente los puntos de referencia. De esta manera, el animal podrá localizar el lugar de destino en su mapa y la dirección desde el lugar de origen y, asimismo, podrá elegir la ruta más adecuada.

Ya desde la obra de Tolman (1948), se ha considerado que la característica principal de los mapas cognitivos es su gran flexibilidad. Una vez el animal se ha construido un mapa, puede utilizar la información para resolver una variedad de problemas. Si a los sujetos se les introduce en el entorno desde un punto de salida nuevo o se bloquea el camino recorrido anteriormente, éstos serán capaces de deducir el trayecto más directo desde este lugar nuevo hasta una meta conocida. Por otra parte, si hay algún cambio en la situación (por ejemplo, porque se introduzca un determinado reforzador en un determinado lugar), ocurrirá un reajuste automático en el mapa, que incorporará esta información. De aquí se deduce que si un animal es preexpuesto a un entorno, éste se formará un mapa cognitivo de ese entorno, lo que le dará ventaja con respecto a otro animal no preexpuesto, cuando posteriormente se introduzca el reforzador. Este es el fenómeno del aprendizaje latente (Blodgett, 1929; Tolman y Honzik, 1930).

Que los animales dispongan o no de un mapa cognitivo (y en caso afirmativo, exactamente

en qué consiste) es algo que se ha cuestionado repetidamente. En la siguiente sección veremos algunos experimentos que ponen de manifiesto la existencia de mapas cognitivos en las ratas.

3.3.- PRUEBAS RECIENTES A FAVOR DE LOS MAPAS COGNITIVOS

Recordemos que la estrategia o aprendizaje cartográfico, en la terminología de O'Keefe y Nadel (1978), requiere la formación de un mapa cognitivo de las relaciones espaciales de los distintos objetos de la habitación experimental (puntos de referencia o claves extralaberinto), en el que la meta se define en función de su localización espacial con respecto al conjunto de los distintos objetos de la habitación.

Una de las primeras investigaciones recientes que apoyaron la idea del mapa cognitivo fue la realizada por Suzuki, Augerinos y Black (1980), quienes examinaron de qué manera empleaban las ratas las claves extralaberinto, utilizando un procedimiento ideado por Olton y Samuelson (1976). En este tipo de procedimiento se utiliza un laberinto radial elevado (Figura 3.8), que consiste en una plataforma central de la que irradian 8, 12 ó más brazos. Al principio de un ensayo se coloca un reforzador en cada uno de los brazos del laberinto. La tarea de la rata consiste en obtener el reforzador de cada brazo, sin repetir la elección de un brazo previamente visitado en ese ensayo. Se ha demostrado que las ratas aprenden a realizar esta tarea sin que adopten patrones de respuesta estereotipados, como podría ser elegir el brazo siguiente al que acaban de visitar (Olton y Samuelson, 1976), y sin que detecten, basándose en rastros olfativos, en qué brazos acaban de entrar (Olton, Collison y Werz, 1977; Roberts, 1979; Zodalek y Roberts, 1978).

Sin embargo, la explicación de la actuación de una rata en el laberinto radial que hace Olton (1978) es completamente diferente a la que se desprende de la formulación del mapa cognitivo de O'Keefe y Nadel (1978). Olton fundamentalmente estudia diferentes aspectos de la memoria a corto plazo (memoria de trabajo o memoria operativa). Según la "hipótesis de lista" de Olton (1978,1979), las ratas señalan mentalmente cada brazo en el que han entrado para evitar eligirlo otra vez y esto constituiría una actividad de la memoria operativa. Este modelo considera un lugar como un ítem de una lista en la memoria operativa, que puede ser tratado independientemente de su connotación espacial y por lo tanto, los animales simplemente podrían asociar la localización de un determinado brazo con un estímulo particular. Sin embargo, la hipótesis del mapa cognitivo formula que los animales no tratan la información espacial segmentalmente sino que establecen un mapa espacial que ubica un estímulo en el espacio en relación a otros. Un lugar no es identificado por ningún estímulo único, ni puede ser independiente de los otros lugares en el ambiente experimental, sino que viene determinado por la relación espacial entre diversos estímulos extralaberinto o puntos de referencia.

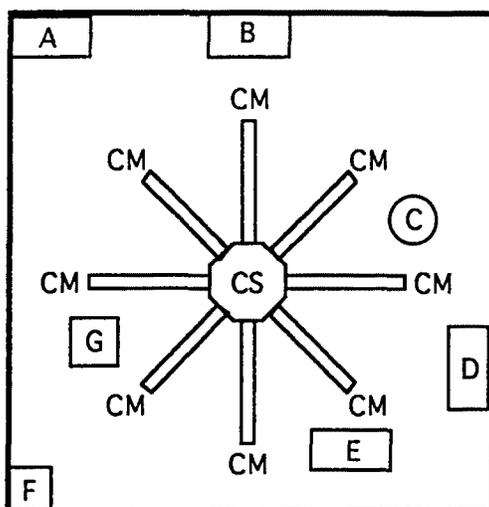


Figura 3.8.- Diagrama esquemático de un laberinto radial de ocho brazos en el que se coloca a la rata en la plataforma central, que se utiliza como una caja de salida (CS) al comienzo del ensayo, y desde donde tiene que elegir entre las ocho cajas-meta (CM). A, B, C, etc., representan diversos objetos de la habitación (puertas, ventanas, mesas).

Suzuki, Augerinos y Black (1980) utilizaron un laberinto radial de 8 brazos situado en una habitación cilíndrica y que estaba completamente pintada de negro. En el extremo de cada brazo había un estímulo distintivo que colgaba de la pared (un balón, luces de un árbol de Navidad, una pirámide de madera, etc.). Las ratas tuvieron un entrenamiento preliminar de elecciones forzadas que consistía en poner a un animal en la plataforma central, con las ocho puertas cerradas y, a continuación, abrir una sola puerta. La rata entraba en ese brazo y se comía la píldora de comida que estaba en el comedero. El animal volvía a la plataforma central, e inmediatamente se cerraba esa puerta y se abría otra, con lo que el sujeto tenía acceso a un nuevo brazo y a otra píldora de comida. Después de tres ensayos forzados como éste, y estando el animal en la plataforma central, se abrían las ocho puertas y, para que la actuación del animal se considerara correcta, tenía que entrar en los cinco brazos que no había visitado antes. Una vez que los sujetos hubieron aprendido bien esta tarea, se les hizo esperar en la plataforma central 2.5 minutos después de la tercera elección forzada. Durante este intervalo se introdujeron varias manipulaciones según los ensayos de prueba (ver Figura 3.9): en los ensayos de rotación, se les rotaba toda la habitación cilíndrica (90° , 180° o 270°), con lo que la configuración original de los estímulos se mantenía igual aunque se alteraba su relación con respecto a los brazos del laberinto; en los ensayos de transposición, se les cambiaban los estímulos distintivos de una manera no sistemática; y por último, en los ensayos de control, no

se les alteraba nada. Si los animales actúan como sugiere Olton (1978), la actuación de los animales no debería verse afectada ni por la rotación ni por la transposición, mientras que si su actuación depende de un mapa cognitivo, ésta se verá afectada por los ensayos de transposición, pero no por los de rotación.

Los resultados mostraron que la actuación de los sujetos en los ensayos de rotación fue prácticamente idéntica a la de los ensayos de control, mientras que la actuación en los ensayos de transposición fue peor que en los ensayos de control y rotación. Suzuki y cols. (1980) concluyeron que este hallazgo indica que los animales, cuando resuelven una tarea en el laberinto, utilizan información acerca de la relación topográfica entre los estímulos, es decir, un mapa espacial, apoyando por tanto la noción de aprendizaje cartográfico de O'Keefe y Nadel (1978), ya que se trata de un aprendizaje distinto al que se lleva a cabo por lo que estos autores denominaron "estrategia de guía".

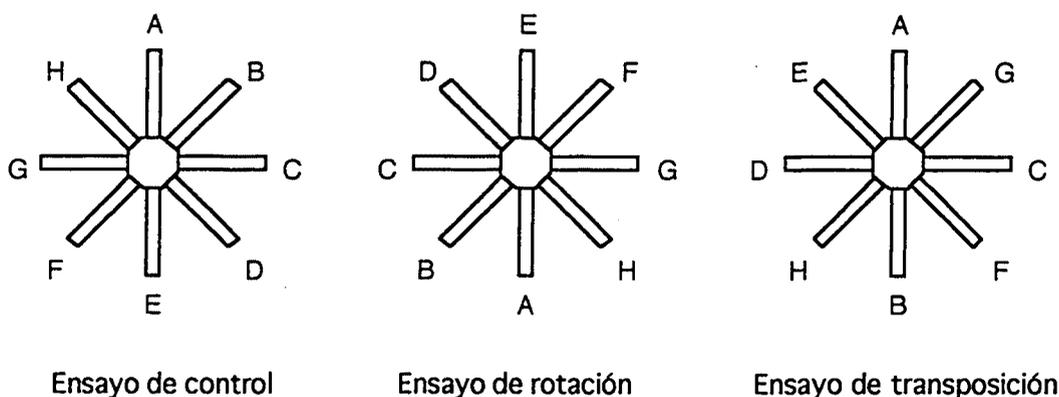


Figura 3.9.- Diagrama esquemático de las diferentes manipulaciones del trabajo de Suzuki, Augerinos y Black (1980). A, B, C, etc. representan objetos situados en el extremo de cada uno de los brazos.

Sin embargo, estos autores consideraron que existía una explicación alternativa, basada precisamente en la estrategia de guía. Si se considera que los animales utilizan estímulos configurales (por ejemplo, la triada ABC para definir el brazo que apunta a B), en vez de estímulos únicos para señalar cada brazo en una lista de ítems en la memoria operativa (Olton, 1978), en los ensayos de transposición se romperían estos estímulos configuracionales (por ejemplo, AGC) y por lo tanto, la actuación sería peor que en los ensayos de control, igual que predicen O'Keefe y Nadel (1978) por razones bien distintas.

Una de las demostraciones más directas de que las ratas usan una estrategia cartográfica

implicaría que 1) aprendiesen a desplazarse a un lugar que no está indicado por ningún punto de referencia, 2) utilizando diferentes trayectorias hacia este lugar y desde distintos puntos de salida y 3) adoptando inmediatamente trayectos nuevos y eficientes, si se las libera desde puntos de salida no experimentados durante el entrenamiento (Sutherland y Dick, 1984; ver también Chamizo, 1990).

Una de las investigaciones que ha sido considerada como una prueba potente de la existencia de un mapa cognitivo en las ratas ha sido una investigación de Morris (1981). La tarea ideada por este autor en su laberinto acuático fuerza al animal a ir libremente a un determinado lugar en base a su sistema de localización espacial, liberándolo de los trayectos preestablecidos por los distintos brazos-meta y con ello, de la necesidad de tener que tomar una decisión en el punto de elección que conllevan los laberintos tradicionales. Además, como señala Means (1988), otra ventaja del laberinto acuático es que se considera que no contiene claves que podrían proporcionar información al sujeto acerca de una respuesta específica anterior.

Morris (1981) entrenó a unas ratas en una piscina circular llena de agua opaca, de la que podían escapar subiéndose a una plataforma. En el Experimento 1, se utilizaron dos plataformas (ver Figura 3.10): una plataforma pintada de negro y que sobresalía 1 cm por encima del nivel del agua y otra pintada de blanco y sumergida 1 cm por debajo del nivel del agua, siendo por tanto esta última, invisible para los animales.

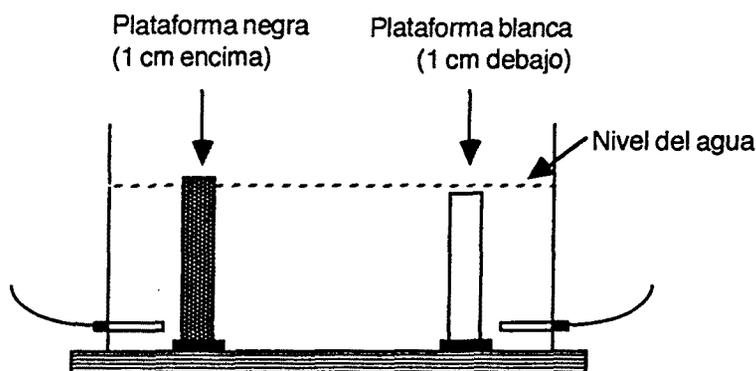


Figura 3.10.- Un corte medial del laberinto acuático de Morris mostrando ambas plataformas en relación al nivel del agua. Sólo se presentó una plataforma en una condición de entrenamiento.

Se utilizaron 4 grupos de ratas en este experimento (ver Tabla 3.1). Los sujetos de los grupos Clave+Lugar y Clave, fueron entrenados con la plataforma negra (clave). Sin embargo, mientras que para el grupo Clave+Lugar la plataforma estaba situada siempre en una posición

fija (lugar), para el grupo Clave la plataforma no mantenía una posición fija con respecto a la habitación experimental. Las ratas del grupo Lugar y Lugar-Azar fueron entrenadas con la plataforma blanca (que era invisible para los animales), también teniendo una posición fija para el grupo Lugar y sin posición fija para el grupo Lugar-Azar.

Tabla 3.1.- Diseño esquemático del Experimento 1 de Morris (1981)

Grupos	Entrenamiento	Pruebas	
		A	B
Clave+Lugar			
Lugar			
Clave			
Lugar-Azar			

Los resultados mostraron que cuando la plataforma mantenía una posición fija con los puntos de referencia de la habitación, independientemente de que fuera o no visible, los sujetos aprendían rápidamente a escapar del agua (grupos Clave+Lugar y Lugar). Sin embargo, cuando la plataforma no mantenía una relación constante con los puntos de referencia de la habitación, sólo los sujetos entrenados con la plataforma visible (grupo Clave) escapaban rápidamente del agua. Se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre estos tres grupos y el grupo Lugar-Azar, cuya actuación se mantuvo a nivel de azar durante todo el entrenamiento. Posteriormente al entrenamiento, se realizaron dos pruebas. La mitad de los sujetos de cada grupo pasó por una prueba y la otra mitad por otra. Una de las pruebas consistió en quitar la plataforma y subdividir la piscina en cuatro cuadrantes (el cuadrante donde había estado la plataforma durante el entrenamiento de los grupos Lugar y Clave+Lugar, el de la derecha, el de la izquierda y el opuesto). La prueba consistía en colocar al animal dentro de la piscina y dejarlo nadar libremente durante 60 seg., midiéndose el tiempo que pasaba en cada cuadrante. Los resultados mostraron que los animales del grupo Lugar pasaron más tiempo en el cuadrante donde había estado la plataforma durante el entrenamiento que en cualquiera de los cuadrantes restantes. Esta actuación también se observó en los sujetos del grupo Clave+Lugar, pero más débilmente. Sin embargo, los sujetos de los grupos Clave y Lugar-Azar pasaron un tiempo

equivalente en cada uno de los cuadrantes. La segunda prueba que se llevó a cabo consistió en cambiar de lugar la plataforma. Para los grupos Clave+Lugar y Lugar, la plataforma se colocó en el cuadrante diagonalmente opuesto a la del entrenamiento, mientras que para los grupos Clave y Lugar-Azar, se mantuvo por primera vez en una posición fija. Esta prueba duró 4 ensayos. Inicialmente, los sujetos del grupo Lugar nadaron al lugar donde había estado antes la plataforma y cuando finalmente la encontraron, aprendieron su nueva localización muy rápidamente. El grupo Clave+Lugar también mostró esta actuación, aunque más débilmente, a pesar de que la plataforma para ellos era visible. El grupo Clave, con la plataforma visible y ahora en una posición fija, mostró una actuación precisa en todos los ensayos, mientras que el grupo Lugar-Azar mostró una marcada disminución en su latencia de escape a lo largo de los 4 ensayos de prueba. El resultado de este último grupo es interesante puesto que muestra que estos sujetos no habían aprendido a ignorar los puntos de referencia durante el entrenamiento.

En resumen, los resultados mostraron que las ratas aprendían a encontrar un objeto que no podían ver, oler u oír, localizando su posición en un espacio familiar. Obviamente, las ratas del grupo Lugar aprendieron a ir directamente a la plataforma a pesar de no haber ninguna clave que definiera ese lugar más que su relación espacial con los puntos de referencia de la habitación experimental, y no cabe duda de que están a favor del aprendizaje cartográfico propuesto por O'Keefe y Nadel (1978).

Sin embargo, Morris (1981) argumentó la posibilidad de que los resultados del grupo Lugar pudieran explicarse por mecanismos meramente asociativos. Según esta explicación, para él alternativa, las ratas de este grupo pueden haber aprendido cuatro respuestas distintas de aproximación a una clave determinada (condicionamiento clásico), una desde cada uno de los cuatro puntos de salida. Otra posible explicación, también desde un punto de vista asociativo, es que las ratas hubieran aprendido a realizar una respuesta determinada desde cada uno de los puntos de salida (condicionamiento instrumental).

3.4.- PROCESOS COGNITIVOS DEL APRENDIZAJE ESPACIAL: Hipótesis del mapa cognitivo de O'Keefe y Nadel (1978) versus mecanismos asociativos del aprendizaje espacial.

Hay una amplia evidencia de que, tal y como formula la teoría del mapa cognitivo de O'Keefe y Nadel, las ratas y otros animales utilizan relaciones complejas de puntos de referencia o claves extralaberinto para localizar una meta (Gould, 1986, 1990; Morris, 1981; Rodríguez, Durán, Vargas, Torres y Salas, 1994; Suzuki, Augerinos y Black, 1980).

Como hemos visto en el experimento de Morris (1981), las ratas pueden nadar directamente hacia una plataforma incluso si es totalmente invisible. Recordemos también que en los estudios de aprendizaje en laberintos, cuando las ratas han aprendido la localización de una caja-meta en base a las claves extralaberinto de la habitación experimental, su actuación se deteriora si se altera la disposición de estos puntos de referencia (prueba de transposición en el experimento de Suzuki, Augerinos y Black, 1980), pero no cuando éstos se rotan o cuando se elimina un número de claves extralaberinto, incluso las que están ubicadas inmediatamente detrás de la caja-meta (Barnes, Nadel y Honig, 1980; Chamizo, Sterio y Mackintosh, 1985; O'Keefe y Conway, 1978).

Otra cuestión es si los procesos que están a la base del aprendizaje táxico y cartográfico son de naturaleza diferente e independiente, tal y como se deduce de las afirmaciones de O'Keefe y Nadel (1978). Estos investigadores caracterizan el aprendizaje táxico como asociativo o incremental (siendo presumiblemente el aprendizaje de orientación un caso de condicionamiento instrumental y el aprendizaje de guía uno de condicionamiento pavloviano) y, por otra parte, al aprendizaje cartográfico lo consideran de todo-o-nada, un aprendizaje que incluye el almacenamiento y reajuste de una representación completa del entorno en respuesta a la novedad. Sin embargo, cómo hemos visto en el apartado anterior, los resultados de los experimentos que apoyan la existencia de los mapas cognitivos tienen una explicación alternativa en base a mecanismos asociativos.

Veamos dos líneas de investigación que han intentado dar una respuesta a si realmente la estrategia cartográfica implica un tipo de aprendizaje diferente e independiente de los mecanismos asociativos.

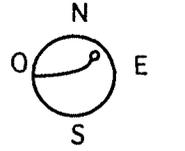
3.4.1.- Transferencia instantánea y aprendizaje latente

El concepto de transferencia instantánea, una consecuencia teórica de la formulación del mapa cognitivo de O'Keefe y Nadel (1978), consiste en que una vez las ratas se han formado un mapa cognitivo del entorno, pueden realizar una trayectoria precisa (es decir, una trayectoria recta desde el punto de salida a la meta en un tiempo mínimo) tanto desde una localización familiar como desde una completamente novedosa.

El concepto de transferencia instantánea surgió a partir de los resultados de un experimento de Morris (1981, Experimento 2). En este experimento, sólo utilizó la plataforma invisible. La fase de entrenamiento fue idéntica para todos los grupos (Tabla 3.2). Durante esta fase, los sujetos fueron entrenados a encontrar una plataforma que se mantuvo siempre en una posición fija (noreste= NE) y desde un punto de salida también fijo (oeste= O).

Tras el entrenamiento se realizaron tres ensayos de prueba. Para el grupo Mismo-Lugar se mantuvo la plataforma en la posición de entrenamiento (NE), pero se utilizaron tres puntos de salida distintos (N, S y E). Para el grupo Nuevo-Lugar, se utilizaron también tres puntos de salida distintos, pero la plataforma también variaba en función del punto de salida. Si salían del N, la plataforma se situaba al SE, si era del E al SO y si salían del S al NO. De esta forma, la relación angular y la distancia entre el punto de salida y la posición de la plataforma se mantenía constante y era igual a la del entrenamiento. Finalmente, para el grupo de Control, se mantuvo la plataforma en el NE y el punto de salida al O, igual que durante el entrenamiento.

Tabla 3.2.- Diseño esquemático del Experimento 2 de Morris (1981)

Grupos	Entrenamiento	Pruebas		
Mismo-Lugar				
Nuevo-Lugar				
Control				

La predicción de la actuación de los sujetos en este experimento es diferente según la teoría del mapa cognitivo de O'Keefe y Nadel (1978) y según las explicaciones asociativas. Según O'Keefe y Nadel, una vez construido el mapa cognitivo, el sujeto será capaz de generar una nueva trayectoria precisa (es decir, una trayectoria recta a la plataforma en un tiempo mínimo), tanto desde un punto de salida familiar como desde uno novedoso. Así, predicen que los sujetos del grupo Mismo-Lugar alcanzarán la plataforma tan rápidamente como los de Control, mientras que los sujetos del grupo Nuevo-Lugar tardarán mucho más tiempo, ya que la plataforma habrá cambiado de posición. Desde un punto de vista asociativo, si los sujetos han aprendido a realizar una determinada respuesta, condicionamiento instrumental, el grupo Nuevo-Lugar mostrará una actuación igual a la del grupo Control, mientras que habrá una deterioro en la actuación en los sujetos del grupo Mismo-Lugar, ya que habrá cambiado la

relación angular entre el punto de salida y la plataforma. Por otro lado, si los sujetos han aprendido a aproximarse a un punto o configuración de puntos de referencia específicos, condicionamiento clásico, se predice algún deterioro en la actuación de los sujetos del grupo Mismo-Lugar, en comparación con los del grupo Control, ya que desde los puntos de salida novedosos el punto o configuración de puntos de referencia que indican la posición de la plataforma se verán diferentes, lo que implicaría al menos, un incremento en la latencia de escape; también se predice un gran deterioro en la actuación del grupo Nuevo-Lugar, ya que la plataforma habrá cambiado de posición.

Los resultados mostraron que los sujetos del grupo Control y del grupo Mismo-Lugar tuvieron una actuación muy similar, en tanto que las latencias de escape del grupo Nuevo-Lugar fueron significativamente mayores. Estas diferencias fueron debidas a que los sujetos del Nuevo-Lugar pasaron gran parte del tiempo buscando en el lugar donde había estado la plataforma durante el entrenamiento, lo que demuestra que estos sujetos habían aprendido la ubicación de la plataforma y no a dar una determinada respuesta desde el punto de salida (como por ejemplo, trayecto largo recto y giro corto a la izquierda). Morris argumentó que el hecho de que en los sujetos del grupo Mismo-Lugar, la latencia de escape en los ensayos de prueba no incrementara con respecto a la del entrenamiento y que además, nadaran directamente hacia la plataforma, muestra que los sujetos no han aprendido a aproximarse a un punto o configuración de puntos de referencia específicos. En definitiva, los resultados demuestran que los animales pueden generar nuevas trayectorias desde puntos de salida novedosos en base a la información de la relación que mantienen los puntos de referencia del entorno y por tanto, apoyan la noción de mapa cognitivo. A este fenómeno Morris le denominó "transferencia instantánea".

A partir de sus resultados, Morris sugirió que el fenómeno de la transferencia instantánea es un ejemplo de la flexibilidad del mapa cognitivo y que indica que este tipo de aprendizaje puede diferir de manera fundamental de los ejemplos tradicionales de condicionamiento clásico o instrumental. Sin embargo, aunque Morris (1981) consideró los resultados de la transferencia instantánea como una prueba a favor de la hipótesis del mapa cognitivo propuesto por O'Keefe y Nadel (1978), otros autores han argumentado que estos resultados podrían también ser explicados en base a mecanismos asociativos (Chew, Sutherland y Whishaw, 1989; Pearce, 1987a; Sutherland, Chew, Baker y Linggard, 1987; Whishaw, 1991). Por ejemplo, Pearce (1987a), señaló, que con la excepción del Sujeto 1 (ver Fig. 10 de Morris, 1981), los sujetos del grupo Mismo-Lugar empezaron a nadar en direcciones erróneas, aunque rápidamente corregían sus trayectorias. Pearce consideró la posibilidad de que durante el entrenamiento, estas ratas se hubieran aproximado a la plataforma desde muchos ángulos, lo que les hubiera permitido aprender varios trayectos para llegar a ella. Las diversas configuraciones de los distintos objetos de la habitación podían proporcionarles los puntos de referencia de estos trayectos y el éxito en encontrar la plataforma dependería de haber

aprendido a nadar en cierta dirección en relación a un punto de referencia específico. Es decir, el aprender a encontrar la plataforma podía implicar simplemente el desarrollo de diversas conexiones entre estímulos y respuestas. De esta forma, en los ensayos de prueba, los animales podían salir en una dirección aleatoria y nadar hasta que percibieran algún punto o configuración de puntos de referencia familiares, ajustando entonces su trayectoria y nadando hacia la plataforma.

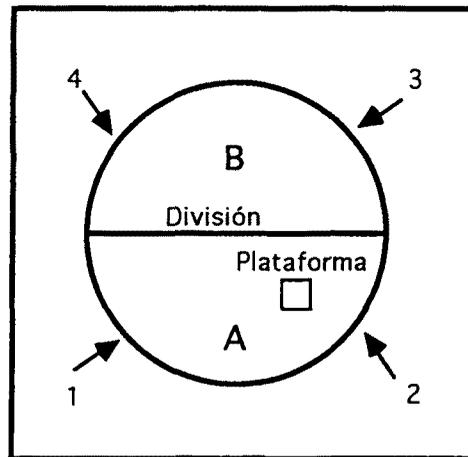


Figura 3.11.- Representación esquemática de la piscina utilizada en el Experimento 1 de Sutherland, Chew, Baker y Linggard (1987). Las flechas indican los puntos de salida utilizados.

La prueba más directa en contra de la interpretación de Morris proviene de una investigación de Sutherland, Chew, Baker y Linggard (1987), también en piscina circular. En un experimento, estos investigadores dividieron la piscina en dos mitades, en una de las cuáles se encontraba la plataforma (mitad A, Figura 3.11). Esto lo hicieron mediante una división, a modo de barrera, que podía ser transparente u opaca. De esta forma, y dependiendo de los grupos, los sujetos podían tener acceso motor o no (barrera por encima o por debajo de la superficie del agua) y acceso visual o no (barrera transparente u opaca) a la otra mitad de la piscina (mitad B). Aunque todos los sujetos aprendieron a encontrar la plataforma con latencias de escape similares durante el entrenamiento, encontraron diferencias cuando, en un ensayo de prueba posterior, los animales empezaban el ensayo de escape desde puntos de salida novedosos (puntos de salida 3 y 4 en la mitad B de la piscina). La teoría asociativa predice que una actuación precisa está relacionada con la experiencia previa con todas las claves relevantes, incluyendo tanto las claves de la habitación como las claves generadas por el movimiento a lo largo del ambiente (Whishaw, 1991). Por otro lado, la teoría del mapa

cognitivo de O'Keefe y Nadel (1978) sugiere que los animales forman una representación del ambiente, independientemente de la experiencia, desde la que pueden generar trayectorias nuevas y precisas tanto desde puntos de salida familiares como novedosos. Sutherland et al (1987) encontraron que para que las ratas muestren transferencia instantánea (es decir, una trayectoria recta desde el punto de salida a la plataforma) es necesario: 1) que hayan visto los puntos de referencia desde la región donde se encuentra el nuevo punto de salida y 2) que hayan nadado por la vecindad del nuevo punto de salida como parte de un patrón de nado asociado con la plataforma invisible (para unas conclusiones similares con ratones en una tarea de "homing" -retorno al nido- ver Alyan, 1994). No cabe duda de que estos resultados apoyan una explicación asociativa de la navegación espacial.

A partir de sus resultados, Sutherland et al. (1987) argumentaron que la buena actuación del grupo Mismo-Lugar del trabajo de Morris (1981) se debía a que en los primeros ensayos del entrenamiento, los animales habían tenido experiencia previa con la región de la piscina en la que, durante la prueba posterior, se encontraba el nuevo punto de salida. Si bien los puntos de salida utilizados en la prueba de transferencia instantánea eran novedosos como puntos de salida en sentido estricto, no lo eran en la experiencia del animal, ya que durante los primeros ensayos de entrenamiento los animales nadaron al azar por todas las regiones de la piscina. Una argumentación similar aplicaron a los resultados de un experimento de Sutherland y Linggard (1982). Estos últimos realizaron un experimento en un laberinto acuático y en el que utilizaron tres grupos de ratas (ver Tabla 3.3). Los sujetos del grupo Correcto, fueron expuestos a la habitación desde la plataforma, que estaba situada en la misma posición que ocuparía durante el entrenamiento de escape posterior. Los sujetos del grupo Incorrecto, también fueron expuestos a la habitación desde la plataforma, pero en una posición diferente (concretamente, en el cuadrante diagonalmente opuesto) de la que tendría en el entrenamiento; los sujetos de Control no fueron expuestos. Durante el entrenamiento, la actuación del grupo Correcto fue claramente superior a la de los grupos Incorrecto y Control. Los resultados se interpretaron como un efecto de aprendizaje latente (Blodgett, 1929; Tolman y Honzik, 1930). Los animales que vieron la habitación desde la plataforma tuvieron una mejor actuación en la tarea de escape posterior que los animales no expuestos o expuestos desde una posición diferente de la plataforma a la que posteriormente se utilizó en el entrenamiento. Otros investigadores también interpretaron estos resultados como una demostración de transferencia instantánea: los animales que fueron expuestos a la habitación desde la plataforma aprendieron las relaciones espaciales entre los puntos de referencia y la plataforma, lo que les permitió calcular trayectorias precisas en los posteriores ensayos de escape (ver Sutherland y Dyck, 1984). Sin embargo, antes de cada exposición a la plataforma, a los sujetos se les permitió nadar durante 30 segundos por toda la piscina, lo que llevó a Sutherland y cols. (1987) a interpretar, de nuevo, la mejor actuación de los sujetos del grupo Correcto en base a su experiencia previa de nado.

Tabla 3.3.- Diseño esquemático del Experimento de Sutherland y Linggard (1982)

Grupos	Exposición	Entrenamiento
Correcto		
Incorrecto		
Control	—	

Está claro que cuando las ratas son expuestas a la habitación experimental desde la plataforma, pueden aprender las relaciones espaciales entre los puntos de referencia y la plataforma. Sin embargo, mientras que para la teoría asociativa, incremental, la experiencia es fundamental para una mejora en la actuación, para la teoría de O'Keefe y Nadel (1978), de todo-o-nada, el uso del mapa cognitivo es completamente independiente de la experiencia motora. Una manera de poner a prueba el papel que juega la experiencia motora en la actuación de los sujetos en una piscina circular es ver si tras la exposición pasiva a la habitación desde la plataforma, los sujetos son capaces de mostrar trayectorias precisas a la plataforma en todos los ensayos de escape posteriores, como se predice desde la teoría de O'Keefe y Nadel (1978) o si simplemente muestran una actuación que mejorará con los posteriores ensayos de nado, como predice una explicación asociativa. Con este objetivo, se inició una nueva línea de investigación en el laberinto acuático, que relacionaba el aprendizaje latente (Sutherland y Linggard, 1982) con la transferencia instantánea (Morris, 1981). Las discusiones se centraron en si la actuación de los sujetos tras la exposición a la habitación desde la plataforma, era una demostración de transferencia instantánea (Jacobs, Zaborowski y Whishaw, 1989a; Keith, 1989; Keith y McVety, 1988) o si simplemente mostraba una mejora en la actuación (Chew, Sutherland y Whishaw, 1989; Jacobs, Zaborowski y Whishaw, 1989b; Sutherland, Chew, Baker y Linggard, 1987; Whishaw, 1991).

La respuesta a esta controversia la podemos encontrar en un experimento de Chew, Sutherland y Whishaw (1989). En este experimento, también en laberinto acuático, se entrenó a dos grupos de ratas a encontrar una plataforma invisible, cuya localización se cambiaba cada día. Los animales de un grupo (grupo Expuesto) fueron expuestos, diariamente,

a la habitación desde la plataforma durante 30 segundos antes del entrenamiento de escape. Los animales de un segundo grupo (grupo No Expuesto) no tuvieron esta exposición antes del entrenamiento de escape. Como podemos ver en la Figura 3.12, en el primer ensayo de escape, el grupo No Expuesto tardó significativamente más en encontrar la plataforma que el grupo Expuesto. Por tanto, las ratas que habían sido expuestas a la habitación desde la plataforma mostraron una mejor actuación que aquellas que no habían sido expuestas. Sin embargo, en el segundo ensayo de escape no se encontraron diferencias entre los grupos Expuesto y No Expuesto y además, ambos grupos encontraron la plataforma más rápidamente que en el primer ensayo de escape. Es obvio que un único ensayo de nado mejoró la actuación no sólo de los sujetos del grupo No Expuesto sino también la de los sujetos Expuestos. Estos resultados llevaron a concluir a Chew et al. (1989) que el grupo Expuesto no mostró transferencia instantánea en el primer ensayo de escape. Sólo nadaron directamente a la plataforma después de haber tenido experiencia visual y motora en un ensayo de nado, replicando por tanto los resultados de Sutherland et al. (1987) y apoyando una explicación asociativa e incremental de la navegación espacial.

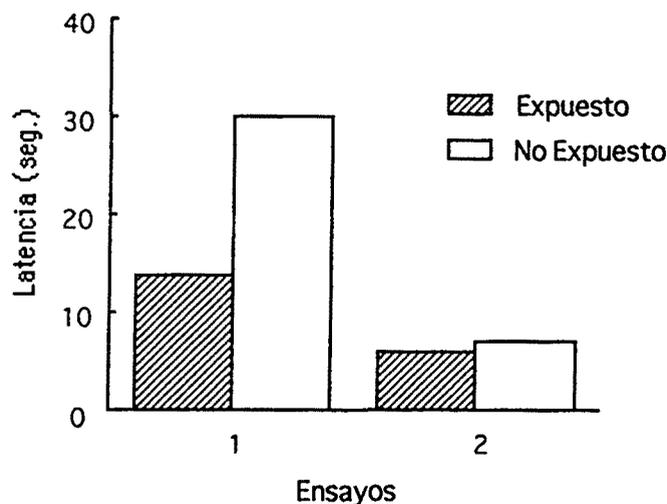


Figura 3.12.- Latencia de escape en dos ensayos sucesivos para el grupo Expuesto y No Expuesto. En ambos grupos la latencia fue menor en el segundo ensayo (Tomada de Chew, Sutherland y Wishaw, 1989).

En otro experimento, Wishaw (1991) también demostró que la actuación mejoraba tras la exposición a la plataforma, pero que mejoraba aún más tras un sólo ensayo de escape; además demostró que la exposición a la plataforma más un ensayo de escape eran aditivos y producían aún una mejor actuación. Wishaw concluyó que no había encontrado transferencia instantánea, puesto que las mejores latencias de escape en sus experimentos no bajaron de los 15 segundos.

Esta conclusión viene de su consideración de que la transferencia instantánea implica una latencia de escape de unos 5 seg. en una trayectoria recta desde el punto de salida a la plataforma. Estos resultados llevaron a Whishaw (1991) a concluir que las ratas usan procesos asociativos en el aprendizaje a localizar una plataforma oculta y no un mapa cognitivo como el formulado por O'Keefe y Nadel (1978).

Sin embargo, podemos plantearnos si la definición de transferencia instantánea usada por algunos investigadores, como Whishaw (1991), es adecuada. Como veremos en el capítulo de experimentos, las ratas en nuestra piscina alcanzan la asíntota de latencia de escape alrededor de los 10 segundos y nunca hemos llegado a las latencias de escape mostradas en el trabajo de Morris (1981), alrededor de 5 segundos. Como argumentaremos, esto puede deberse a varias razones, fundamentalmente a las diferencias en el aparato y la situación experimental. Quizás variables como éstas afecten al nivel asintótico y esto no implica que las ratas no puedan generar nuevas trayectorias precisas desde puntos de salida novedosos si tardan más de 5 segundos en encontrar la plataforma. De hecho, Morris comparaba la latencia de los sujetos del grupo Mismo-Lugar (prueba de transferencia) con los del grupo Control, cuya actuación estaba a nivel asintótico. Sin embargo, en los experimentos anteriores no hay un grupo que indique un nivel de actuación asintótico. Tal y como señala Prados (1993), hasta que no se realice una definición operacional más rigurosa de la transferencia instantánea en el laberinto acuático de Morris (1981) y se lleven a cabo estudios diseñados con el fin de probar o descartar su existencia, no podrá darse una respuesta definitiva a esta problemática.

3.4.2.- Interacciones entre el aprendizaje táxico y cartográfico

Nadie duda de que aunque es totalmente posible para las ratas resolver una discriminación espacial aprendiendo a aproximarse a un estímulo o conjunto de estímulos específico (estrategia de guía), parece ser que utilizan una configuración de puntos de referencia mucho más amplia, ninguno de los cuales es necesario para resolver la tarea (estrategia cartográfica). Cabe destacar por otra parte, que ciertas investigaciones han demostrado que las ratas pueden adquirir más de una estrategia para localizar una plataforma en la piscina y que en determinadas circunstancias utilizan la más apropiada (Sutherland y Dick, 1984; Whishaw y Mittleman, 1986). Pero, ¿existe alguna diferencia entre el condicionamiento de la aproximación y evitación a un conjunto específico de estímulos distintivos de la CM+ (estrategia de guía) y el aprendizaje de un mapa del medio ambiente en el que la CM+ se define en términos de su localización espacial con respecto al conjunto de las claves extralaberinto (estrategia o aprendizaje cartográfico)? Recordemos que para Tolman, ambas alternativas se identifican con el aprendizaje de lugar, mientras que para O'Keefe y Nadel estas formas de aprendizaje son tan diferentes que dependen de estructuras cerebrales distintas.

Por tanto, una cuestión crítica es si el aprendizaje cartográfico consiste en el condicionamiento de respuestas de acercamiento a un lugar que, a su vez, se define en términos de su relación espacial con respecto a un número de puntos de referencia o claves extralaberinto, como afirman los teóricos asociacionistas, o si es más bien un tipo de aprendizaje diferente e independiente de las estrategias táxicas, tal y como se desprende de la teoría de O'Keefe y Nadel.

Morris (1981) sugirió una manera de resolver esta duda y que ha dado lugar a una nueva línea de investigación. La sugerencia consiste en realizar comparaciones sistemáticas, utilizando los mismos procedimientos que ponen de manifiesto los fenómenos característicos del condicionamiento clásico e instrumental, como la inhibición latente y el bloqueo. De esta manera, si los sistemas cartográfico y táxico (en su variedad de guía) representan modos de solución diferentes, es de esperar que no interactúen entre sí (Chamizo, 1990).

Chamizo, Sterio y Mackintosh (1985) pusieron a prueba si el aprendizaje táxico (en su variedad de guía) podía ser bloqueado o ensombrecido por el aprendizaje cartográfico, o viceversa, partiendo del supuesto de que las ratas aprenderían según una estrategia de guía cuando tuvieran que utilizar claves intralaberinto o según una estrategia cartográfica cuando tuvieran que utilizar claves extralaberinto, para llegar a la CM+. El experimento 1 fue de bloqueo. Como vimos en el capítulo anterior, el bloqueo consiste en que el establecimiento previo de uno de los elementos de un estímulo compuesto como señal del refuerzo reduce o bloquea el aprendizaje respecto al otro elemento (Kamin, 1969). Chamizo y cols. pusieron a prueba si el entrenamiento previo con claves relevantes sólo intralaberinto o sólo extralaberinto, bloquearía el aprendizaje acerca del otro tipo de claves cuando, en una segunda fase del experimento, tanto las claves intra como las extralaberinto señalaban de manera simultánea la CM+. Este experimento constó de 4 grupos de ratas: Intra, Extra, Compuesto-I y Compuesto-E (Tabla 3.4). Los sujetos de los grupos Intra y Extra tuvieron un entrenamiento inicial con una sola clave. Para los sujetos del grupo Intra, la comida siempre se encontraba en el brazo de caucho negro y nunca en el de papel de lija, independientemente de a qué parte de la habitación apuntaran. Para los sujetos del grupo Extra, la comida siempre se encontraba en el brazo que apuntaba en dirección nordeste, independientemente de la textura y el color del brazo. Posteriormente a este entrenamiento inicial, se llevó a cabo una segunda fase de entrenamiento compuesto, en la que para todos los grupos la comida siempre se encontraba en el brazo de caucho negro que además siempre apuntaba en dirección nordeste, siendo por tanto ambos tipos de claves relevantes para la tarea. En la fase final, se puso a prueba cuánto habían aprendido los sujetos de los grupos Intra y Compuesto-E sobre las claves extralaberinto y cuánto los sujetos de los grupos Extra y Compuesto-I sobre las claves intralaberinto.

Tabla 3.4. - Diseño del Experimento 1 de Chamizo, Sterio y Mackintosh (1985)

Grupos	Fase 1 (preentrenamiento)	Fase 2 (entrenamiento compuesto)	Fase 3 (prueba)
Intra	Intra+	Intra y Extra+	Extra
Compuesto- Extra	-	Intra y Extra+	Extra
Extra	Extra+	Intra y Extra+	Intra
Compuesto- Intra	-	Intra y Extra+	Intra



Los resultados mostraron (Figura 3.13) que durante el entrenamiento inicial, los sujetos entrenados con claves intralaberinto hicieron menos errores que los entrenados con claves extralaberinto. Como puede verse en la figura, durante la segunda fase del entrenamiento, los dos grupos compuestos aprendieron rápidamente la discriminación. Los resultados más interesantes fueron los de la prueba. En ésta, la actuación de los sujetos preentrenados, Intra y Extra, fué inferior a la de sus correspondientes controles no preentrenados, Compuesto-E y Compuesto-I. Los resultados de este experimento muestran un claro efecto de bloqueo, ya que el entrenamiento inicial con un tipo de claves impidió el condicionamiento de la clave adicional.

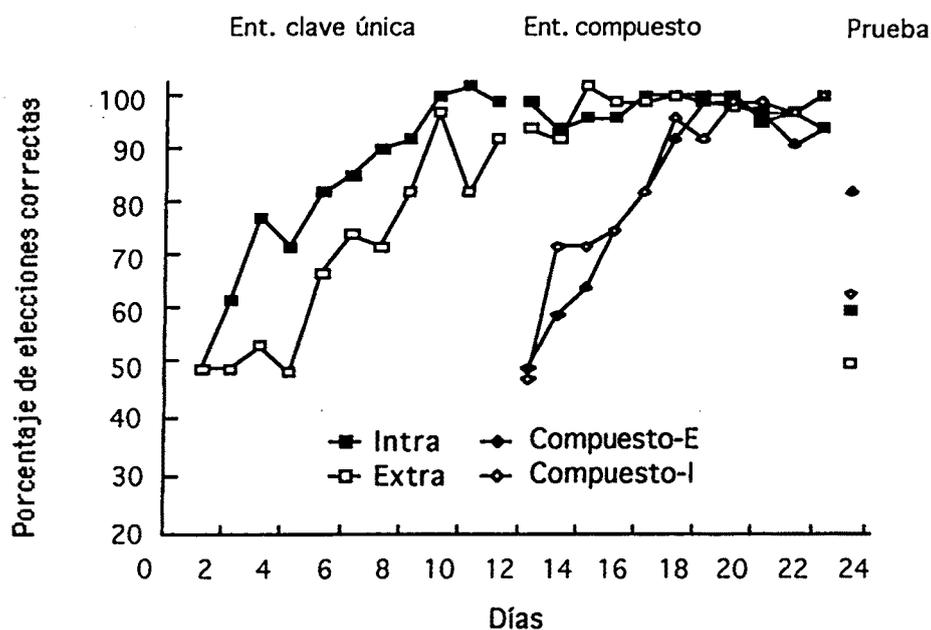


Figura 3.13.- Resultados del Experimento 1 de Chamizo, Sterio y Mackintosh (1985). Media de porcentaje de elecciones correctas durante el preentrenamiento (entrenamiento con una sola clave relevante), entrenamiento compuesto y la fase de prueba de los grupos Intra, Extra y los dos grupos Compuestos (Grupos Compuesto-E y Compuesto-I).

Sin embargo, Chamizo y cols. (1985) sugirieron que podía darse una explicación alternativa a estos resultados en base al fenómeno de la irrelevancia aprendida (Mackintosh, 1973). Estos investigadores argumentaron que su diseño de bloqueo difería en algunos aspectos de los diseños tradicionales, en los que la clave añadida en el entrenamiento compuesto no está presente durante el entrenamiento inicial. El hecho de que en este experimento, la clave añadida en el entrenamiento compuesto hubiera estado presente en el entrenamiento inicial (aunque irrelevante para la solución de la tarea), habría dado la oportunidad a los sujetos de que aprendieran que esa clave era irrelevante, y por tanto que la ignoraran, lo que podría explicar los resultados de la última fase en la que se les pone a prueba dicha clave. Por tanto, realizaron un segundo experimento con el objetivo de descartar esta explicación alternativa.

Tabla 3.5. - Diseño del Experimento 2 de Chamizo, Sterio y Mackintosh (1985)

Grupos	Fase 1 (preentrenamiento)	Fase 2 (entrenamiento compuesto)	Fase 3 (prueba)
Bloqueo	Intra+	Intra y Extra+	Extra
Control	Intra+	Intra invertida y Extra+	Extra

En su Experimento 2, estos investigadores pusieron a prueba si el entrenamiento previo con claves relevantes sólo intralaberinto bloquearía el aprendizaje de las claves extralaberinto, en un entrenamiento compuesto posterior, cuando las claves extralaberinto fueran irrelevantes durante el entrenamiento inicial tanto para los sujetos de un grupo Bloqueo como para los de un grupo Control. De esta forma, ambos grupos tendrían la misma oportunidad de ignorar la clave extralaberinto, eliminando así la posibilidad de una explicación de los resultados en base a la irrelevancia aprendida. Este experimento constó de 2 grupos: Bloqueo y Control (Tabla 3.5). Durante la fase 1 todos los sujetos fueron entrenados con la clave intralaberinto. Para la mitad de las ratas, la comida siempre se encontraba en el brazo de caucho negro y nunca en el de papel de lija y para la otra mitad, en el brazo de papel de lija y nunca en el de caucho negro, independientemente de a qué parte de la habitación apuntaran. Durante el entrenamiento compuesto de la fase 2, para los sujetos del grupo Bloqueo la comida se encontraba en el brazo que siempre apuntaba en dirección nordeste y que además, contenía la clave intralaberinto (papel de lija o caucho) reforzada durante el entrenamiento inicial. Para el grupo Control la comida también se encontraba en el brazo que apuntaba en dirección

nordeste, pero se invirtió la relación de las claves intralaberinto con respecto a la comida, de tal manera que si habían encontrado la comida en el brazo de caucho negro durante el entrenamiento inicial, ahora la encontraban siempre en el brazo de papel de lija, y viceversa. En la fase final, se puso a prueba cuánto habían aprendido los sujetos de ambos grupos sobre las claves extralaberinto.

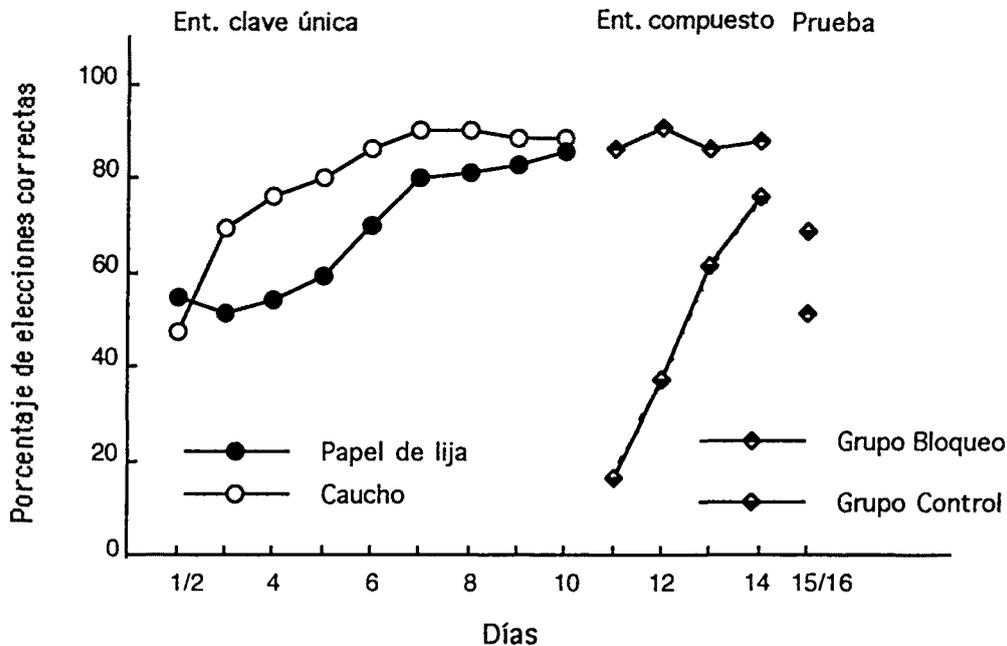


Figura 3.14.- Resultados del Experimento 2 de Chamizo, Sterio y Mackintosh (1985). Media de porcentaje de elecciones correctas durante el entrenamiento con la clave única para los animales entrenados con el brazo de papel de lija o de caucho reforzado, y durante el entrenamiento compuesto y prueba para los grupos Bloqueo y Control.

Los resultados mostraron (Figura 3.14) que durante el entrenamiento inicial, los animales entrenados a encontrar comida en el brazo recubierto de caucho negro cometieron menos errores que los entrenados a encontrar la comida en el brazo de papel de lija. Como podemos observar, durante la segunda fase de entrenamiento, las ratas del grupo Bloqueo continuaron respondiendo correctamente, mientras que las del grupo Control, aunque al principio respondieron por debajo del nivel de azar, rápidamente aprendieron la nueva discriminación. Los resultados de los ensayos de prueba muestran que la actuación del grupo Bloqueo fue inferior a la del grupo Control. Estos resultados, por tanto, replican el efecto de bloqueo observado en el Experimento 1 de Chamizo y cols (1985) y descartan la explicación alternativa en base a la irrelevancia aprendida.

En un tercer experimento, Chamizo, Sterio y Mackintosh (1985) pusieron a prueba si las claves intralaberinto podían ensombrecer a las claves extralaberinto y viceversa. Recordemos que el ensombrecimiento consiste en que cuando un estímulo se presenta en compuesto con otro estímulo relevante, los sujetos aprenden menos con respecto a este estímulo de lo que hubiesen aprendido si se hubiera condicionado por sí solo (Pavlov, 1927; Kamin, 1969). El experimento constó de 4 grupos: Intra, Extra, Compuesto-I y Compuesto-E (Tabla 3.6). A los sujetos de los grupos Intra y Extra se les entrenó con un solo tipo de clave (intralaberinto o extralaberinto, respectivamente). A los sujetos de los grupos Compuesto-I y Compuesto-E, se les entrenó con ambas claves simultáneamente, de forma que la comida se encontraba en el brazo de caucho negro que además siempre apuntaba en dirección nordeste. Posteriormente a la fase de entrenamiento, se llevaron a cabo tres pruebas distintas, cada una de ellas precedidas por ensayos de reentrenamiento, en las que se medía el aprendizaje con respecto a las claves intralaberinto en los Grupos Intra y Compuesto-I y a las claves extralaberinto en los Grupos Extra y Compuesto-E. En la prueba 1 se midió el ensombrecimiento y las pruebas 2 y 3 se realizaron con el propósito de dilucidar qué claves concretas utilizaban los animales cuando resolvían la discriminación en base a claves extralaberinto. La prueba 2 consistió en la eliminación de todas las claves extralaberinto de la esquina noreste de la habitación experimental (O'Keefe y Conway, 1978), mientras que en la prueba 3 estas claves extralaberinto se introdujeron otra vez, pero se alteraron las relaciones espaciales entre las restantes claves extralaberinto (Suzuki, Augerinos y Black, 1980).

Tabla 3.6.- Diseño del Experimento 3 de Chamizo, Sterio y Mackintosh (1985)

Grupos	Fase 1 (entrenamiento)	Fase 2 (prueba 1)	Fase 3 (prueba 2)	Fase 4 (prueba 3)
Intra	Intra+	Intra+	Intra+	Intra+
Compuesto-I	Intra y Extra+	Intra+	Intra+	Intra+
Extra	Extra+	Extra+	Extra+	Extra+
Compuesto-E	Intra y Extra+	Extra+	Extra+	Extra+

En la Figura 3.15 pueden verse los resultados de este experimento. Mientras que los animales entrenados con ambas claves relevantes simultáneamente (grupos Compuesto-I y Compuesto-E) y los entrenados con claves intralaberinto relevantes (Intra) aprendieron la discriminación a la misma velocidad, los sujetos entrenados con claves extralaberinto relevantes (Extra) aprendieron más despacio, al igual que en el Experimento 1 descrito

anteriormente. Los resultados de la prueba 1 mostraron que mientras que el Compuesto-E mostró un nivel de actuación similar al del grupo entrenado sólo con las claves extralaberinto (grupo Extra), el Compuesto-I tuvo una actuación peor que el grupo Intra. Estos resultados muestran por lo tanto, que las claves extralaberinto ensombrecieron a las claves intralaberinto pero que no hubo un ensombrecimiento recíproco, es decir, un ensombrecimiento de las claves extralaberinto por las intralaberinto. Los resultados más interesantes de las pruebas 2 y 3 eran los de los grupos que se ponían a prueba con claves extralaberinto (Extra y Compuesto-E). En la prueba 2, ambos grupos mostraron una actuación precisa, lo que demostró que estos animales no resolvían la tarea por la mera aproximación a las claves que se encontraban inmediatamente detrás de la CM+ (lo que implicaría una estrategia de guía) sino que localizaban el brazo correcto en base a la relación que guardaban todas las claves extralaberinto de la habitación, utilizando por tanto, una estrategia cartográfica. En la prueba 3, todos los grupos actuaron peor que en los ensayos de reentrenamiento y que en la prueba 2, lo que podría sugerir que estos datos, quizás por la repetición de los ensayos de prueba o por la exploración que provocaba la nueva configuración de claves, no sean tan fiables como los anteriores.

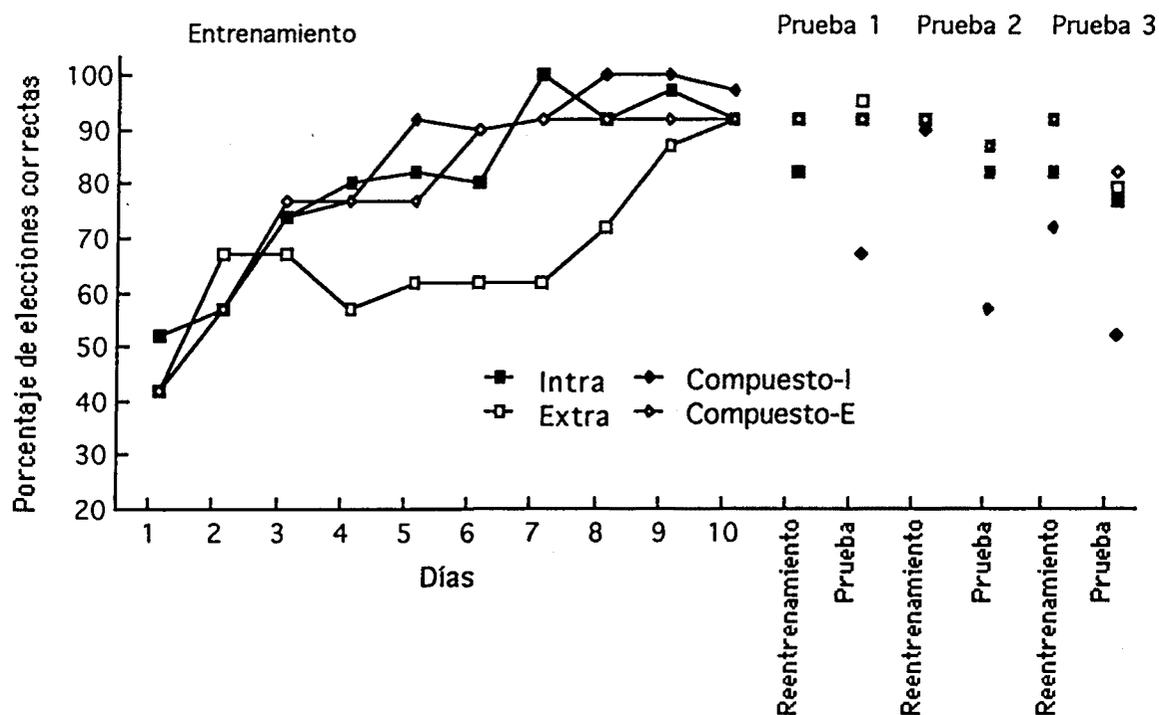


Figura 3.15.- Resultados del Experimento 3 de Chamizo, Sterio y Mackintosh (1985). Media de porcentaje de elecciones correctas durante el entrenamiento, prueba 1, prueba 2 y prueba 3 para los grupos Intra, Extra y ambos grupos compuestos (Grupos Compuesto-I y Compuesto-E).

En resumen, estos investigadores encontraron ensombrecimiento de las claves intralaberinto por las extralaberinto, pero no un ensombrecimiento recíproco. Este resultado es consistente con los resultados de otros experimentos de condicionamiento y aprendizaje discriminativo donde, aunque cada uno de los elementos de un estímulo compuesto es capaz de bloquear al otro, el ensombrecimiento es frecuentemente asimétrico (Kamin, 1969; Mackintosh, 1976; Miles, 1970; Miles y Jenkins, 1973). Sin embargo, en una investigación posterior, March, Chamizo y Mackintosh (1992) argumentaron que el fallo en encontrar ensombrecimiento recíproco podía deberse a las diferencias en la velocidad del aprendizaje discriminativo del grupo Extra; de hecho, este grupo experimentó menos ensayos reforzados que el grupo Compuesto-E. Y esta diferencia en los programas de reforzamiento podría haber contrarrestado cualquier tendencia de las claves intralaberinto a ensombrecer a las claves extralaberinto (Wagner, 1969). Estos investigadores consideraron que la única manera de presentar una demostración inequívoca de ensombrecimiento en una discriminación instrumental, era igualar la experiencia con el reforzamiento durante el entrenamiento del grupo de ensombrecimiento y de control y realizaron un experimento para probarlo. En este experimento utilizaron dos grupos de sujetos. Los sujetos del grupo Intra+Extra fueron entrenados en una discriminación con claves intra y extralaberinto simultáneamente, mientras que los sujetos de un segundo grupo, Extra, fueron entrenados sólo con claves extralaberinto. Para igualar la experiencia con el reforzamiento, utilizaron un procedimiento de elección forzada. Posteriormente, realizaron varios ensayos de prueba, de elección libre, en los que se medía el aprendizaje con respecto a las claves extralaberinto. Los resultados mostraron que el grupo Intra+Extra actuó peor que el grupo Extra, resultados que muestran un ensombrecimiento de las claves extralaberinto por las claves intralaberinto.

En definitiva, si la solución de una discriminación extralaberinto depende del establecimiento de un mapa o representación de las relaciones espaciales entre las cajas-meta y los puntos de referencia o claves extralaberinto de la habitación experimental, la implicación obvia de todos los resultados vistos en este apartado es que este aprendizaje interactúa con otras formas de aprendizaje de la misma manera que el condicionamiento a una luz interactúa con el condicionamiento a un tono. Tal y como sugirió Morris (1981), estas interacciones implican que la estrategia cartográfica no es un tipo de aprendizaje diferente e independiente de las estrategias táxicas, tal y como se desprende de la teoría de O'Keefe y Nadel.

4.- EXPERIMENTOS

4.1.- INTRODUCCIÓN E HIPÓTESIS DE LOS EXPERIMENTOS

Como hemos expuesto anteriormente, O'Keefe y Nadel (1978) consideran que las ratas pueden aprender el camino hacia una meta en un laberinto de dos maneras distintas. Una de ellas es el aprendizaje táxico que engloba dos estrategias distintas: la estrategia de guía (que consiste en el condicionamiento de respuestas de acercamiento a unas características intrínsecas o estímulos diferenciadores de los brazos de elección, condicionamiento clásico) y la estrategia de orientación (que consiste en el condicionamiento de giros específicos a la derecha o a la izquierda en los puntos de elección, condicionamiento instrumental). El aprendizaje táxico es asociativo, incremental y abarca tanto al condicionamiento clásico o pavloviano como al instrumental. Por otro lado, O'Keefe y Nadel consideran el aprendizaje cartográfico, no-asociativo, de "todo o nada", que implica el establecimiento de un mapa espacial del entorno en el que se localizan las cajas-meta del laberinto en relación al conjunto de los distintos objetos de la habitación (puntos de referencia o claves extralaberinto). Pero, ¿son estos dos tipos de aprendizaje, el táxico y el cartográfico, realmente diferentes e independientes, tal y como se deduce de las afirmaciones de O'Keefe y Nadel?. Morris (1981) sugirió que una manera de poner a prueba esta cuestión es ver si determinados fenómenos tales como el bloqueo y la inhibición latente, que rutinariamente se encuentran en experimentos de condicionamiento simple, y que por tanto deben de aparecer en el aprendizaje táxico, también se observan en el aprendizaje cartográfico. De ser así, esto implicaría que los procesos que se hallan a la base de ambos tipos de aprendizaje son los mismos. Y se trataría de procesos asociativos.

Chamizo, Sterio y Mackintosh (1985) y March, Chamizo y Mackintosh (1992), estudiaron si era posible encontrar bloqueo y ensombrecimiento entre claves intra- y extralaberinto en una tarea de discriminación espacial que tenía dos alternativas. Estos investigadores concluyeron que los dos conjuntos de claves interactuaban de la misma manera que lo hace cualquier otro par de estímulos en experimentos de condicionamiento pavloviano o en discriminaciones simples. Una de las implicaciones de estos experimentos es que los procesos que subyacen a las discriminaciones espaciales (entre brazos idénticos de un laberinto pero que apuntan en direcciones diferentes y que como consecuencia se definen en términos de la relación que mantienen con respecto a puntos de referencia extralaberinto) no son diferentes de los que están implicados en el aprendizaje de las discriminaciones no-espaciales (entre brazos recubiertos de caucho y papel de lija, por ejemplo).

Si a la base de ambos tipos de aprendizaje (cartográfico y táxico en su variedad de guía, según la terminología de O'Keefe y Nadel) se hallan los mismos procesos asociativos, debemos esperar que los puntos de referencia espaciales compitan por ganar fuerza asociativa con la recompensa de la misma manera que otros estímulos, como tonos y luces, en experimentos de condicionamiento estándar; y por tanto, también debemos esperar encontrar dentro del dominio

espacial, los fenómenos pavlovianos básicos, como por ejemplo el bloqueo. Si entrenáramos a un grupo de ratas a encontrar una plataforma invisible en base a tres puntos de referencia, A, B y C, ¿aprenderían a usar un nuevo punto de referencia, X, cuando se añadiera al conjunto original?. Podemos hacer dos predicciones distintas. La teoría del mapa cognitivo de O'Keefe y Nadel predice que cuando se introduzca X en la situación ambiental, los animales reajustarán automáticamente su mapa, puesto que habrá una discrepancia entre la nueva entrada sensorial y la representación ya existente del entorno (O'Keefe y Nadel, 1978; Poucet, Chapuis, Durup y Thinus-Blanc, 1986). Una vez introducido este nuevo punto de referencia en el mapa cognitivo, guiará la navegación de las ratas de la misma manera que A, B ó C. Por otra parte, una explicación asociativa predice que el previo aprendizaje con A, B y C, bloqueará la adquisición posterior de X, de forma que este punto no podrá guiar la navegación de las ratas como lo hagan A, B ó C.

El propósito principal de esta investigación, en la que se ha utilizado el laberinto acuático de Morris (1981), era encontrar el fenómeno del bloqueo dentro del dominio espacial, es decir, entre puntos de referencia únicamente espaciales. La situación experimental introducía una mayor innovación en comparación con el trabajo de Morris (1981): intentamos controlar, de manera óptima, los puntos de referencia que se utilizaron para definir la localización de la plataforma (ver descripción del aparato). La piscina se situó en un recinto completamente rodeado de cortinas negras y se dispuso, a su alrededor, un número fijo de objetos que colgaban del techo en determinadas posiciones en relación a la plataforma de escape, invisible para los sujetos (este tipo de control de los puntos de referencia lo emplearon inicialmente Suzuki, Augerinos y Black trabajando con un laberinto radial). Los dos primeros experimentos compartieron los mismos objetivos y en ambos se emplearon ensayos de escape estándar. El primer objetivo consistió en establecer que las ratas podían aprender a localizar una plataforma invisible cuando se las entrenaba con tres o cuatro puntos de referencia que, junto con la plataforma, rotaban de ensayo a ensayo. También era importante encontrar puntos de referencia que tuvieran una saliencia semejante, de tal manera que se mantuviera una buena actuación cuando se quitara cualquiera de ellos, descartando así un aprendizaje de guía en nuestra situación experimental. Por tanto, el segundo objetivo era establecer que los diferentes puntos de referencia eran igual de efectivos, demostrando que las ratas podían ubicar la plataforma con cualquier subconjunto de dos o tres de los cuatro puntos de referencia, pero no cuando sólo estaba presente un solo punto de referencia. El objetivo del Experimento 3 era desarrollar un procedimiento que permitiera igualar al máximo la experiencia de las ratas con los puntos de referencia relevantes, para lo que usamos ensayos forzados. Una vez establecidas las pautas procedimentales, en los Experimentos 4 y 5 pretendíamos encontrar bloqueo entre puntos de referencia espaciales.

4.2.- EXPERIMENTO 1

El objetivo de este experimento era establecer que los diferentes puntos de referencia usados en nuestra situación experimental, cuatro en total, controlaban la conducta de los animales cuando buscaban la plataforma y que éstos eran igualmente efectivos, por lo que esperábamos que las ratas pudieran ubicar la plataforma con cualquier subconjunto de dos o tres de los cuatro puntos de referencia con los que habían sido entrenadas.

4.2.1.- Método

Sujetos.- Los sujetos fueron 10 ratas de la raza Long Evans, 4 machos y 6 hembras, de aproximadamente 3 meses de edad al inicio del experimento y sin ninguna experiencia previa. Se las enjauló en grupos de 2 ó 3 y se las mantuvo en condiciones "ad libitum" de comida y agua durante todo el experimento.

Aparato.- El aparato consistió en una piscina circular de color blanco, construída con fibra de vidrio y plástico (ver Prados, 1993). Las dimensiones de la piscina eran de 1.58 m de diámetro por 0.65 m de altura y cuyo nivel de agua estaba a una altura de 0.49 m con respecto a la base (ver Figura 4.1). La piscina estaba encima de un soporte de madera de 0.43 m de alto, por lo que el nivel del agua estaba a 0.92 m con respecto al suelo de la habitación. Se llenaba y vaciaba, aproximadamente cada 15 días, mediante un sistema de drenado conectado a un desagüe en la propia habitación. El agua de la piscina era de color blanco (esto se conseguía añadiendo látex de poliestileno -1 cl/l. aprox.-) y se mantenía a una temperatura constante de 22 (± 1)° C mediante dos resistencias en cable, recubiertas de goma siliconada (2 x 180 W), que estaban conectadas a la red eléctrica. La piscina estaba situada en el centro de una habitación de 4.06 x 3.23 x 2.85 m de altura y rodeada por unas cortinas negras, que colgaban desde un falso techo circular hasta 0.51 m del suelo, formando un recinto circular de 0.24 m de diámetro. En el centro de la piscina y sobre una estructura de madera también circular de 1.60 m de diámetro (a modo de un segundo falso techo), se colocaron tres bombillas de bajo consumo de 15 W (iluminación equivalente a 75 W cada una) y una cámara de video (Hitachi, KP-110) con una lente gran-angular de 4 mm. Una lámina de plástico translúcido difuminaba la luz y permitía que asomara el objetivo de la cámara por un agujero central de 10 cm de diámetro. La cámara transmitía la señal a un procesador de imágenes en tiempo real, el Video-Track 512, que a su vez transmitía información cuantitativa a un ordenador del tipo PC AT3 (Compaq Deskpro 286e) a través de una interfase paralela (ver anexo para una explicación más detallada). Tanto el Video-Track como el ordenador se encontraban en una habitación adyacente desde donde se registraba la conducta del animal.

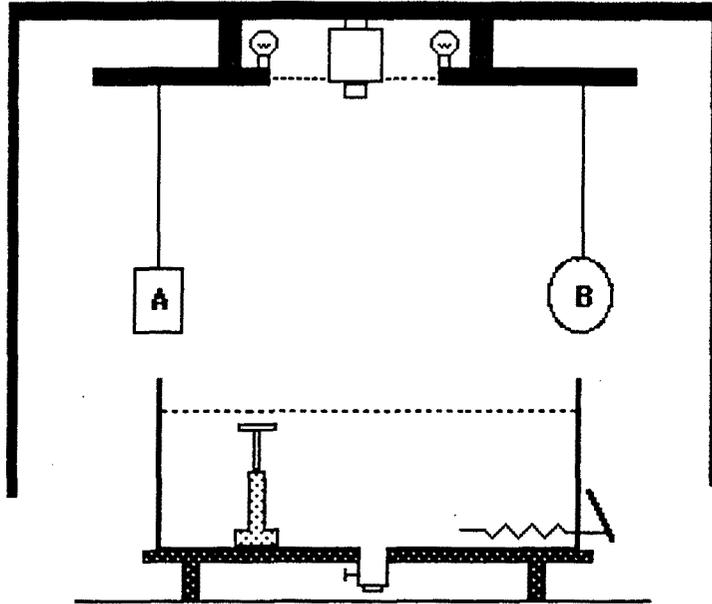


Figura 4.1.- Esquema del recinto experimental.

La estructura circular de 1.60 m (el segundo falso techo) era giratoria y en su extremo, se colocaron unos soportes que permitían colgar diferentes objetos, puntos de referencia, a 35 cm por encima de la superficie del agua y justo encima del borde de la piscina. Los cuatro puntos de referencia usados fueron: -(A): una bombilla de 40 W introducida dentro de un cono invertido de plástico blanco de 11 cm de altura y 13 cm de diámetro en la base; (B): una pelota de playa de 30 cm de diámetro con segmentos verticales alternativos de color azul, blanco, amarillo, blanco, naranja y blanco; (C): una luz intermitente de 1 W y con una frecuencia de intermitencia de 60-80 veces por minuto y (X): una planta de plástico verde de aproximadamente 35 cm de diámetro y 30 cm de altura.

Las ratas podían escapar del agua subiendo a una plataforma, de 0.11 m de diámetro y construida con metacrilato transparente, que estaba sumergida 1 cm por debajo del nivel del agua, siendo por tanto invisible para los animales. Esta plataforma, situada a 38 cm del borde de la piscina, se introducía en una base metálica, en una posición determinada que podía ser NE, NO, SE y SO.

Procedimiento.- El experimento constó de preentrenamiento, entrenamiento y pruebas.

En el preentrenamiento, los animales tuvieron 2 ensayos de nado (a razón de un ensayo diario, durante 2 días) sin que estuvieran presentes ni la plataforma ni los puntos de

referencia. Este ensayo consistía en introducir al animal en el agua y dejarlo nadar libremente durante 180 segundos. No se llevó a cabo ningún tipo de registro en esta fase.

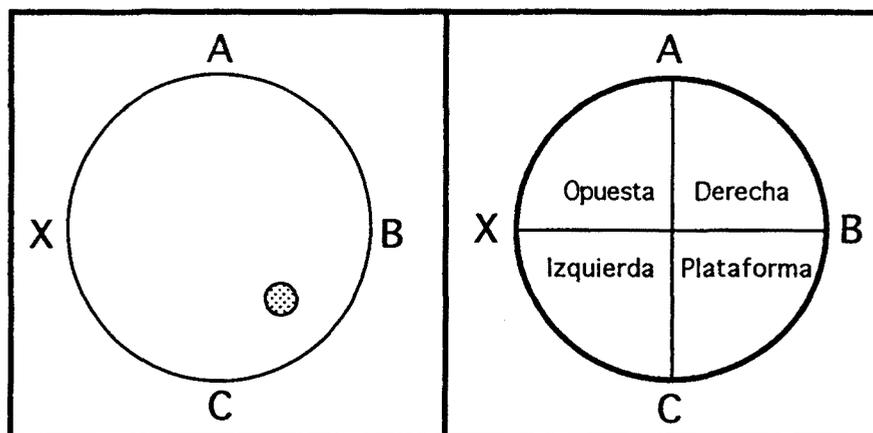


Figura 4.2.- Representación esquemática de la ubicación de los puntos de referencia y de la plataforma durante el entrenamiento (izquierda) y de los cuadrantes durante las pruebas (derecha).

Durante el entrenamiento, las ratas recibieron 112 ensayos de escape (a razón de 8 ensayos diarios, durante 14 días) con la plataforma y los puntos de referencia A, B, C y X. La ubicación de la plataforma y de los puntos de referencia era tal y como se muestra en la Figura 4.2 (izquierda). Un ensayo de escape consistía en colocar a la rata dentro de la piscina, encarada a la pared, y dejarla nadar libremente hasta que encontrara la plataforma, tras lo cual permanecía allí durante 30 segundos. La rata tenía un máximo de 120 segundos para encontrar la plataforma; si no la encontraba en este tiempo, se la cogía, se la colocaba encima de la plataforma y se la dejaba allí durante 30 segundos. Después, la experimentadora la recogía de la plataforma y la colocaba dentro de su jaula de espera hasta que comenzaba el siguiente ensayo. Se trabajaba con las ratas en grupos de cinco. La media del intervalo entre ensayos (IEE) fue de 10-20 minutos. Los puntos de referencia y la plataforma se rotaban siempre 90° de ensayo a ensayo en sentido contrario a las agujas del reloj, de forma que los animales no pudieran utilizar ninguna información de la habitación para poder ubicar la plataforma. Se utilizaron cuatro puntos de salida (debajo de cada uno de los cuatro puntos, A, B, C y X en la Figura 4.2); en cada ensayo, se colocaba a la rata en un punto de salida diferente de la piscina, igualando tanto como fue posible el que la plataforma estuviera, desde donde se introducía a la rata, en el mismo lado o en el opuesto de la piscina y a la derecha o a la izquierda. De esta forma se impedía un posible aprendizaje de respuesta de giro para encontrar la plataforma. Los posibles giros que podían conducir a la plataforma eran: giro corto a la derecha, giro corto a la izquierda, giro largo a la derecha y giro largo a la izquierda. A lo largo de una sesión de 8 ensayos de escape,

cada animal realizaba dos ensayos de cada uno de estos giros. Además, con objeto de eliminar un posible sesgo debido a un rastro de olor (por ejemplo, por orina) por el que las ratas pudieran guiarse para encontrar la plataforma, después de cada ensayo individual se movía el agua de la piscina.

Después del entrenamiento, los animales tuvieron 2 días de prueba. Cada uno de estos días consistió en 4 ensayos estándar de escape (en presencia de A, B, C y X) y, a continuación, un ensayo de prueba. El ensayo de prueba consistía en colocar a la rata en la piscina, con los puntos de referencia pero sin la plataforma, y dejarla nadar durante 120 segundos. Para la prueba, se dividió espacialmente la superficie de la piscina en 4 cuadrantes (ver Figura 4.2 -derecha-): el cuadrante donde tendría que haber estado la plataforma, el de la derecha, el de la izquierda y el opuesto; y se registró la cantidad de tiempo que las ratas pasaban en cada cuadrante. En cada sesión de prueba, se igualaba al máximo el cuadrante en el que debería estar la plataforma (NO, NE, SO y SE) y la relación que mantenía el cuadrante de la plataforma con el punto de salida (giros largos y cortos, izquierda y derecha). En esta fase, dos ratas fueron puestas a prueba con A, B y C en el día 1 y con B, C y X en el día 2. Dos ratas más fueron puestas a prueba con A, C y X en el día 1 y con A, B y X en el día 2. Otras dos con A y B en el día 1 y con C y X en el día 2. Dos más con A y X el día 1 y con B y C el día 2 y las dos ratas restantes con B y X en el día 1 y con A y C el día 2 (ver Figura 4.3).

Entrenamiento	Prueba D1	Prueba D2
A B C X	A B C A C X	B C X A B X
	A B A X B X	C X B C A C

Figura 4.3.- Diseño esquemático del Experimento 1

4.2.2.- Resultados y discusión

La Figura 4.4 muestra la latencia media de escape durante el entrenamiento. Como podemos observar, a lo largo de los 14 días de entrenamiento de escape, todos los sujetos decrecieron su latencia en encontrar la plataforma. La latencia media fue de 43.85 seg. en el día 1 y de 8.93 seg. en el día 14, permaneciendo por debajo de los 20 segundos desde el día 4.

En los ensayos de escape previos a las pruebas, no encontramos diferencias significativas entre las latencias de escape de los sujetos que pasaron la prueba con tres o dos puntos de referencia ($E_s < 1$).

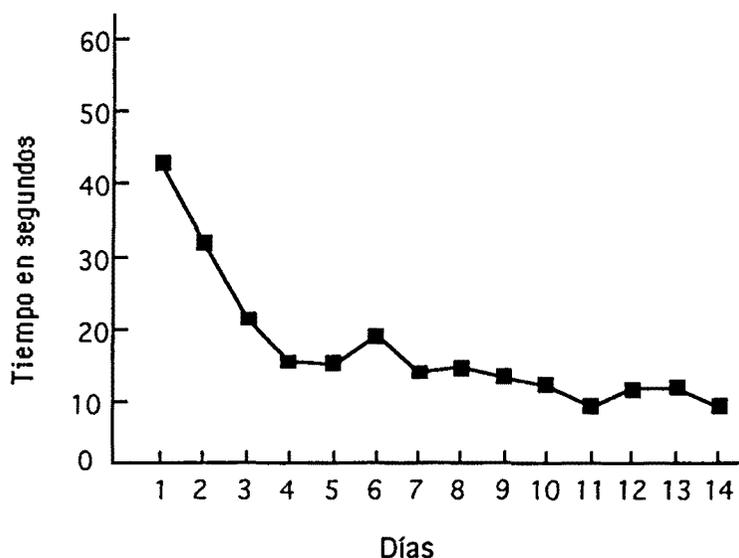


Figura 4.4.- Resultados del Experimento 1: latencia media en encontrar la plataforma durante la fase de entrenamiento de escape.

En este y en todos los experimentos posteriores, la actuación en la prueba se analizó en rangos. Los cuatro cuadrantes de la piscina se ordenaron en función de la cantidad de tiempo que pasaban las ratas en cada uno de ellos durante los 120 segundos del ensayo de prueba. Ya que los rangos atribuidos a los distintos cuadrantes no son independientes, sólo analizamos los datos correspondientes al cuadrante de la plataforma, mediante análisis no paramétricos. Usando esta medida, una actuación perfecta sería un rango de 1 para el cuadrante de la plataforma, lo que indicaría que todos los sujetos habrían pasado más tiempo nadando en este cuadrante que en cualquiera de los otros tres (que pasarían a tener los rangos 2, 3 y 4). Por tanto, el nivel de azar se situaría en una puntuación de 2.5. Usamos esta medida para hacer frente a la gran variabilidad de nuestros datos, que nos creaban problemas cuando trabajábamos con latencias. Pensamos que esta variabilidad podía ser debida a diferentes razones: como hemos visto, la habitación experimental era muy diferente en comparación con la de Morris (1981), haciendo la tarea de hallar la plataforma claramente más difícil (de hecho, nuestras ratas eran claramente más lentas en hallar la plataforma); en segundo lugar, nuestra piscina era mayor (y probablemente, esto también contribuía en dificultar la tarea); y finalmente, en los ensayos de prueba, nuestras ratas nadaban durante 120 seg. en vez de 60, como hacía Morris.

En la Figura 4.5 se muestra la media del rango del cuadrante de la plataforma en los dos días de prueba. En las pruebas, análisis de rango mostraron que no había diferencias significativas entre los sujetos que fueron puestos a prueba con tres o dos puntos de referencia ni en el día 1 (Mann-Whitney $U=12$, $p > 0.10$) ni en el día 2 (Mann-Whitney $U=11$, $p > 0.10$); en ambos días la actuación general de los sujetos fue significativamente mejor que la esperada por mero azar (Wilcoxon $T=0$, $p < 0.05$ para el día 1 y 2).

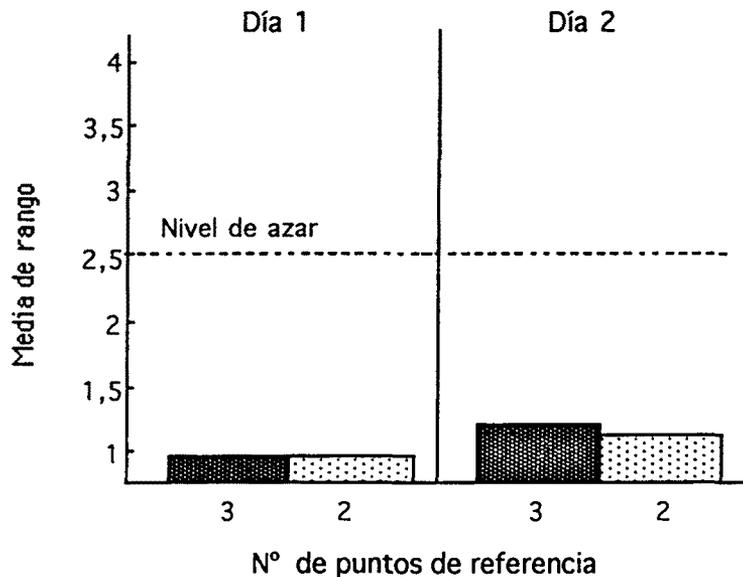


Figura 4.5.- Resultados del Experimento 1: media de rango del cuadrante de la plataforma de los sujetos que fueron puestos a prueba con tres o dos puntos de referencia en los días 1 y 2 de prueba.

Con el objetivo de asegurarnos que la saliencia de los distintos puntos de referencia era semejante, analizamos los datos de las pruebas en las que un determinado punto de referencia estaba presente frente a aquellos donde no lo estaba. Estos análisis se llevaron a cabo con independencia de que estuvieran presentes dos o tres puntos de referencia, ya que no habíamos encontrado diferencias en el análisis anterior. Se eliminaron 2 sujetos de cada análisis, aquellos para los que en los dos días de prueba estaba presente el punto de referencia analizado (ver Figura 4.3). Un análisis intrasujeto nos mostró que no había diferencias entre el que estuviera presente o ausente cualquier punto de referencia (Wilcoxon $T = 1.5$ para el punto de referencia A y X, Wilcoxon $T = 0$ para B y C, $p > 0.10$ en todos los casos); en todas las ocasiones, la actuación fue significativamente mejor que la esperada por azar (Wilcoxon $T = 0$, $p < 0.05$ en todos los casos) (ver Figura 4.6).

Los resultados de este experimento muestran que tras un entrenamiento largo de escape con cuatro puntos de referencia, las ratas mostraron una buena actuación (la latencia para encontrar la plataforma se situó por debajo de los 10 seg.) y que cuando fueron puestas a prueba con cualquier combinación de dos o tres de los puntos de referencia, pasaron más tiempo en el cuadrante de la plataforma que en cualquier otro cuadrante de la piscina. Podemos concluir, por tanto, que las ratas resolvieron la tarea tanto en presencia de tres como de dos puntos de referencia y que ninguno de ellos era necesario para una actuación exitosa: la presencia o ausencia de cualquier punto de referencia no afectaba a la conducta de los animales cuando buscaban la plataforma. Estas conclusiones apoyan la idea de que los animales utilizan una estrategia cartográfica en nuestra piscina, hablando en términos de O'Keefe y Nadel (1978).

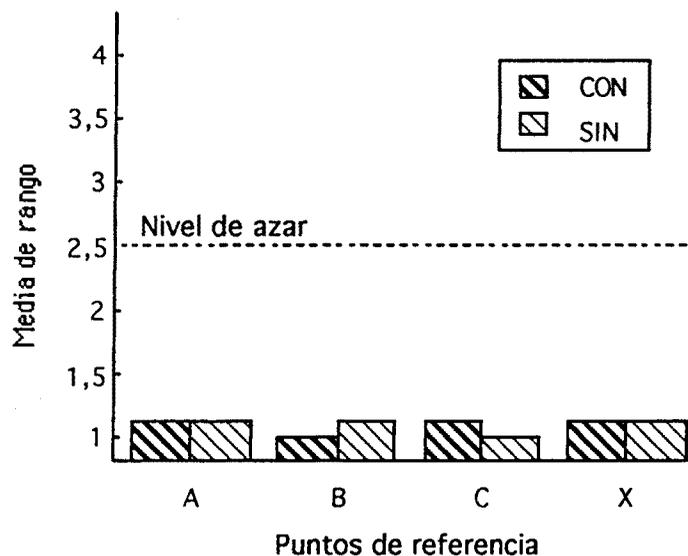


Figura 4.6.- Resultados del Experimento 1: media del rango del cuadrante de la plataforma en presencia (con) o ausencia (sin) de cada uno de los puntos de referencia.

4.3.- EXPERIMENTO 2

Uno de los propósitos de los experimentos preliminares era establecer que los diferentes puntos de referencia eran igualmente efectivos. En el Experimento 1 hemos demostrado que las ratas pueden ubicar la plataforma con cualquier subconjunto de dos o tres de los cuatro puntos de referencia.

El objetivo de este experimento era ver si con un entrenamiento más reducido las ratas podían continuar resolviendo la tarea de prueba con dos puntos de referencia, pero no con uno, puesto que dos puntos de referencia parece ser que es la información mínima pero necesaria para resolver esta clase de tarea (Prados y Trobalón, comunicación personal; Rodrigo, Prados y Sansa, 1994).

4.3.1.- Método

Sujetos y aparato.- Los sujetos fueron 12 ratas de la raza Long Evans, 6 machos y 6 hembras, de aproximadamente 3 meses de edad al inicio del experimento y sin experiencia previa. Las condiciones de mantenimiento, el aparato y los puntos de referencia utilizados fueron los mismos que en el Experimento 1.

Procedimiento.- El experimento constó de preentrenamiento, entrenamiento y pruebas. El procedimiento general seguido fue el mismo que en el experimento anterior.

El preentrenamiento fue idéntico al del Experimento 1. En esta fase, los animales tuvieron 2 ensayos de nado (a razón de un ensayo diario, durante 2 días) sin que estuvieran presentes ni la plataforma ni los puntos de referencia.

Entrenamiento	Prueba D1	Prueba D2
ABCX	AB AC AX BC BX CX	A B C X

Figura 4.7.- Diseño esquemático del Experimento 2

Durante el entrenamiento, las ratas recibieron 48 ensayos de escape (a razón de 8 ensayos diarios, durante 6 días) en presencia de los puntos de referencia A, B, C y X (ver Figura 4.7). A continuación, los animales tuvieron dos días de prueba. Cada uno de estos días

consistió en 4 ensayos estándar de escape (con los puntos de referencia A, B, C y X y la plataforma) y un ensayo de prueba (con los puntos de referencia pero sin la plataforma). En el día 1, a las ratas se las puso a prueba con dos puntos de referencia (a razón de dos ratas por cada una de las 6 posibles combinaciones de dos puntos de referencia) y en el día 2, con un solo punto de referencia (a razón de tres ratas por cada uno de los cuatro puntos de referencia).

4.3.2.- Resultados y discusión

La Figura 4.8 muestra la latencia media de escape durante el entrenamiento. A lo largo de los 6 días de entrenamiento de escape, todos los sujetos decrecieron su latencia para encontrar la plataforma. La latencia media fue de 50.12 seg. en el día 1 y de 16.86 seg. en el día 6, permaneciendo, al igual que en el Experimento 1, por debajo de los 20 segundos desde el día 4.

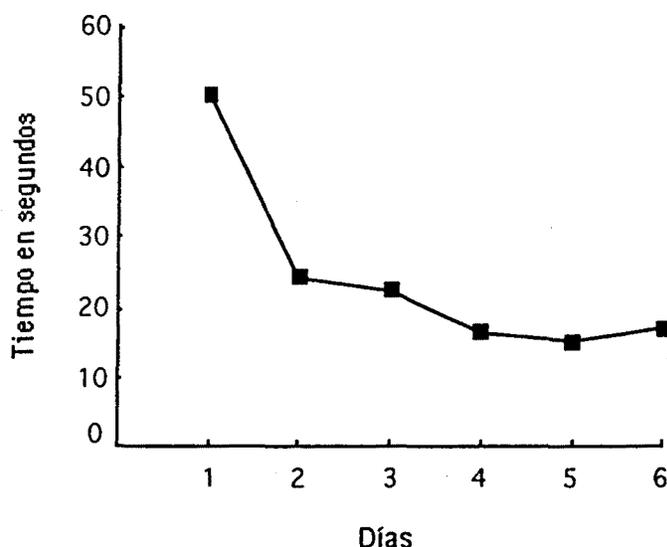


Figura 4.8.- Resultados del Experimento 2: latencia media para encontrar la plataforma durante la fase de entrenamiento de escape.

En los ensayos de escape previos a las pruebas, no encontramos diferencias significativas entre las latencias de escape anteriores a las pruebas con dos y un punto de referencia ($E < 1$). En la Figura 4.9 se presentan los resultados de las distintas pruebas. En las pruebas, análisis de rango mostraron que había diferencias estadísticamente significativas

entre las dos pruebas (Wilcoxon $T = 5$, $p < 0.05$); la actuación de los sujetos fue significativamente mejor que la esperada por azar en la prueba con dos puntos de referencia (Wilcoxon $T = 9$, $p < 0.05$), pero no en la prueba con sólo un punto de referencia (Wilcoxon $T = 30$, $p > 0.10$).

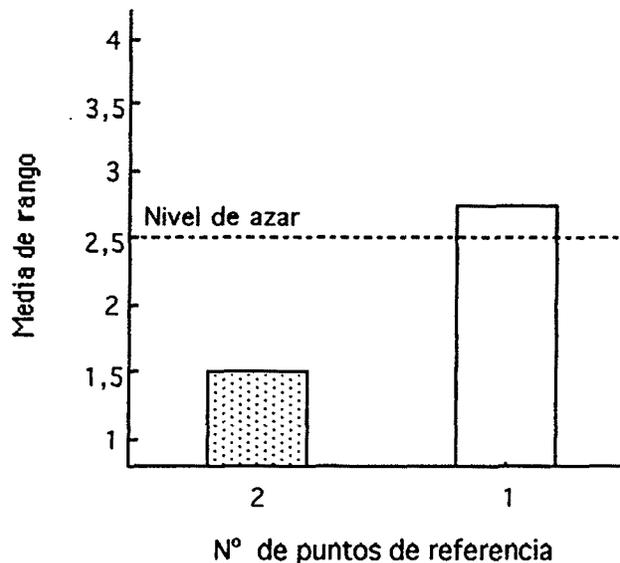


Figura 4.9.- Resultados del Experimento 2: media del rango del cuadrante de la plataforma en la prueba con dos y un solo punto de referencia.

Los resultados de este experimento mostraron que las ratas podían ubicar la plataforma usando cualquier combinación de dos de los cuatro puntos de referencia, incluso después de sólo 48 ensayos de escape, pero que eran incapaces de ubicarla con un solo punto de referencia. Estos resultados por una parte, replican los del Experimento 1, en cuanto que no es necesario ningún punto de referencia particular para resolver la tarea y, por otra parte, avalan resultados anteriores en el sentido de que la memoria espacial tiene mucha información redundante (Chamizo, Sterio y Mackintosh, 1985; O'Keefe y Conway, 1978) y de que para la localización espacial se requieren al menos dos puntos de referencia (Prados y Trobalón, comunicación personal; Rodrigo, Prados y Sansa, 1994). Al igual que en el Experimento 1, los resultados de este experimento confirman que los animales utilizan una estrategia cartográfica y no una estrategia de guía para encontrar la plataforma en nuestra piscina, en terminología de O'Keefe y Nadel (1978).

4.4.- EXPERIMENTO 3

El objetivo de este experimento era igualar, tanto como fuera posible, la experiencia de las ratas con los diferentes puntos de referencia durante el entrenamiento. Con esta finalidad, introdujimos un cambio potencialmente muy importante en nuestro procedimiento: ensayos forzados en vez de ensayos de escape. La razón de este cambio radicaba, en parte, a que Sutherland, Chew, Baker y Linggard (1987), usando un laberinto acuático, habían demostrado que la manera más eficiente de que las ratas adquirieran información de lugar era mientras se dirigían a la meta, es decir, nadando (ver también Devan, Blank y Petri, 1992). Como veremos a continuación, este hallazgo podría ofrecer una explicación alternativa de los posibles efectos de bloqueo de nuestros experimentos posteriores. Un experimento de bloqueo podría implicar un entrenamiento inicial de un grupo de bloqueo con tres puntos de referencia, por ejemplo A, B y C, seguido por una segunda fase en la que este grupo de bloqueo y un grupo de control fueran entrenados con A, B, C y X. Cualquier diferencia posterior entre los dos grupos con respecto al aprendizaje de X podría deberse al hecho de que los sujetos del grupo de control (sin ninguna experiencia previa con los puntos de referencia con anterioridad a esta fase y, por tanto, muy lentos inicialmente en encontrar la plataforma) habrían estado más tiempo nadando en la piscina durante esta segunda fase y, de este modo, habrían tenido una mayor oportunidad de aprender la relación entre X, los otros puntos de referencia y la plataforma. Con un entrenamiento con ensayos forzados, intentábamos controlar, tanto como fuera posible, la experiencia de los animales con los diferentes puntos de referencia.

Por tanto, en este experimentos pretendíamos desarrollar un procedimiento que permitiera que los animales aprendieran la relación específica de A, B y C en la definición del lugar que ocupaba la plataforma, estando siempre ellos en la plataforma. Para ello, adoptamos un procedimiento con ensayos forzados, similar al utilizado en los experimentos de aprendizaje latente (por ej. Keith y McVety, 1988; Whishaw, 1991), teniendo muy en cuenta (tal y como habían demostrado Keith y McVety, 1988) la importancia de superar los aspectos procedimentales (no espaciales) de la tarea (como por ejemplo, que las ratas supieran que la única forma de escapar del agua era subiéndose a la plataforma), para que los sujetos mostrasen una buena actuación tras la exposición a los puntos de referencia desde la plataforma. De hecho, en experimentos previos con ensayos forzados (que aquí no presentamos), no habíamos podido encontrar una buena actuación en los ensayos de prueba debido a que, en estos ensayos, los animales intentaban escapar del agua trepando por las paredes de la piscina, llegando incluso a agotar el tiempo de un ensayo de prueba, 120 segundos. Por tanto, llevamos a cabo un nuevo diseño de la fase de preentrenamiento, con el fin de que los sujetos superaran los aspectos procedimentales de la tarea. Sin embargo, tampoco nos fue posible obtener una buena actuación sin dar ningún entrenamiento de escape.

4.4.1.- Método

Sujetos y aparato.- Los sujetos fueron 21 ratas de la raza Long Evans, 10 machos y 11 hembras, de aproximadamente 6 meses de edad al inicio del experimento y sin ninguna experiencia previa. Las condiciones de mantenimiento, el aparato y los puntos de referencia utilizados fueron los mismos que en los experimentos anteriores.

Procedimiento.- El experimento constó de preentrenamiento, entrenamiento y pruebas.

Inicialmente, las ratas tuvieron 4 ensayos de preentrenamiento (a razón de un ensayo diario, durante 4 días). En este experimento y en los siguientes, un ensayo de preentrenamiento era idéntico a un ensayo de escape salvo en dos excepciones: la primera, que en estos ensayos estaba la plataforma pero no los puntos de referencia, y la segunda, que el tiempo máximo que los animales tenían para encontrar la plataforma era de 180 seg. en vez de 120 seg. El objetivo principal de este tipo de preentrenamiento era que los animales aprendieran los aspectos procedimentales (no espaciales) de la tarea.

Durante el entrenamiento, los animales recibieron 112 ensayos forzados (a razón de 8 ensayos diarios, durante 14 días). En esta fase sólo estuvieron presentes tres puntos de referencia, A, B y C (en lugar de cuatro como en los Experimentos 1 y 2). Un ensayo forzado consistía en poner a una rata encima de la plataforma, que siempre estaba situada entre B y C, y dejarla allí durante 30 seg. Después, la experimentadora la recogía y la colocaba en la jaula de espera hasta el siguiente ensayo. El mismo procedimiento se repetía con los otros animales, hasta que todas las ratas de ese grupo habían completado el ensayo. Se trabajaba con grupos de 5-6 ratas. El intervalo entre ensayos (IEE) era de 7-8 minutos. Como era habitual, en todos los ensayos se rotaban tanto los puntos de referencia como la plataforma 90° en sentido inverso a las agujas del reloj.

Entrenamiento		Pruebas				
A B C	ensayos forzados	AB	ensayos de escape	A B C	ensayos de escape	AB
		BC				BC
		AC				AC
		- - -				- - -
		A				A
		B				B
C	C					

Figura 4.10.- Diseño esquemático del Experimento 3

Tras el entrenamiento, los animales tuvieron dos días de prueba. El día 1 consistió en un ensayo de preentrenamiento (sin los puntos de referencia pero con la plataforma), 4 ensayos forzados (en presencia de A, B y C) y, finalmente, un ensayo de prueba (con los puntos de referencia pero sin la plataforma). En este ensayo de prueba, el 50% de las ratas fueron puestas a prueba con dos puntos de referencia y el otro 50% con un solo punto de referencia (ver Figura 4.10). El día 2 de prueba consistió en 4 ensayos de escape (con A, B y C y la plataforma) y un ensayo de prueba (con A, B y C pero sin la plataforma). A continuación, las ratas tuvieron 2 ensayos más de escape y otro ensayo de prueba. En este último ensayo de prueba, el 50% de las ratas fueron puestas a prueba con dos puntos de referencia y el otro 50% con un solo punto de referencia. En este experimento, los ensayos de escape y de prueba eran idénticos a los de los experimentos anteriores salvo en que el tiempo máximo que los animales tenían para encontrar la plataforma en los ensayos de escape era de 180 seg. en vez de 120 seg., como en los Experimentos 1 y 2.

4.4.2.- Resultados y discusión

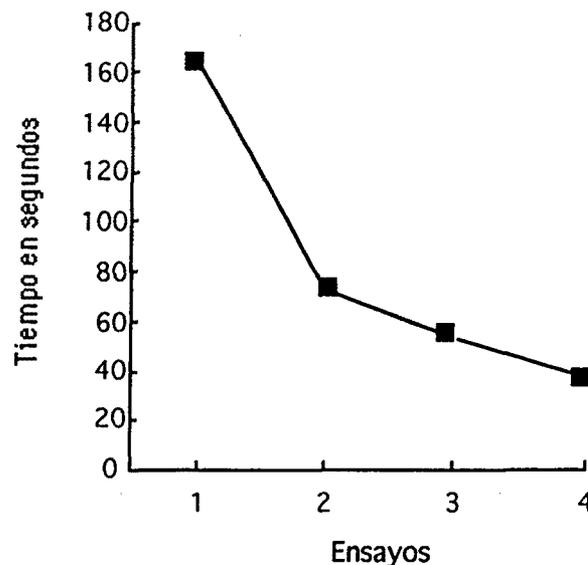


Figura 4.11.- Resultados del Experimento 3: latencia media para encontrar la plataforma durante la fase de preentrenamiento, en la que no había ningún punto de referencia presente.

La Figura 4.11 muestra la latencia media de escape durante el preentrenamiento. En el primer día, sólo cinco ratas encontraron la plataforma en los 180 segundos de tiempo máximo.

Esto fue debido a que los animales pasaban la mayor parte del tiempo intentando trepar por la pared de la piscina. En los siguientes ensayos, algunas ratas empezaron a desistir de esta conducta y se adentraron en la piscina, con lo que la probabilidad de encontrar la plataforma aumentaba. Finalmente, los animales abandonaron la conducta de trepar por la pared de la piscina. De esta forma, en el día 4 de preentrenamiento, todas las ratas encontraron la plataforma, con una latencia media de 37.14 seg.

En la Figura 4.12 se presentan los resultados de las distintas pruebas. En la primera prueba, análisis de rango mostraron que tras cuatro ensayos forzados, no había diferencias estadísticamente significativas entre los sujetos que fueron puestos a prueba con dos o con un punto de referencia (Mann-Whitney $U = 48.5$, $p > 0.10$) y que la actuación no difería de la esperada por mero azar (Wilcoxon $T = 86$, $p > 0.10$). Por tanto, en este primer ensayo de prueba, no hallamos evidencia de que las ratas fueran capaces de ubicar la plataforma ni con uno ni con dos puntos de referencia.

A continuación, los sujetos recibieron cuatro ensayos estándar de entrenamiento de escape. En el primero de estos ensayos, la latencia media para encontrar la plataforma fue de 40.45 seg. y en el cuarto, de 31.14 seg. Sin embargo, este descenso en la latencia no fue significativo ($F < 1$). En la segunda prueba, con los tres puntos de referencia presentes, la media de rango del cuadrante de la plataforma fue de 1.43. Un análisis de rango mostró que la actuación fue significativamente mejor que la esperada por azar (Wilcoxon $T = 8$, $p < 0.01$).

En los dos ensayos de escape anteriores a la tercera prueba, la latencia media para encontrar la plataforma fue de 31.40 seg., más o menos la misma que habían tenido los sujetos en el último ensayo de escape de la prueba anterior. En esta prueba, con uno o dos puntos de referencia, obtuvimos los mismos resultados que antes, tras los ensayos forzados. Los análisis mostraron que no había diferencias estadísticamente significativas entre los sujetos que fueron puestos a prueba con dos o un punto de referencia (Mann-Whitney $U = 101.5$, $p > 0.10$) y que la actuación no difería de la esperada por azar (Wilcoxon $T = 92.5$, $p > 0.10$).

En definitiva, en este experimento hallamos que las ratas podían resolver la tarea con tres puntos de referencia pero no con dos o uno, incluso después de unos pocos ensayos de escape¹.

¹ Sin embargo, este experimento se alargó dos días más (aunque estos datos aquí no se presentan) y las ratas terminaron resolviendo la tarea en una prueba con dos puntos de referencia tras 10 ensayos de escape (Wilcoxon $T = 49.5$, $p < 0.05$). Aunque en esta prueba no encontramos diferencias entre las distintas configuraciones de dos puntos de referencia (AB vs BC vs AC), se aproximaba a la significación ($p = 0.07$): las ratas resolvían la tarea muy bien con BC, un poco peor con AB y no la resolvían, en absoluto, con AC.

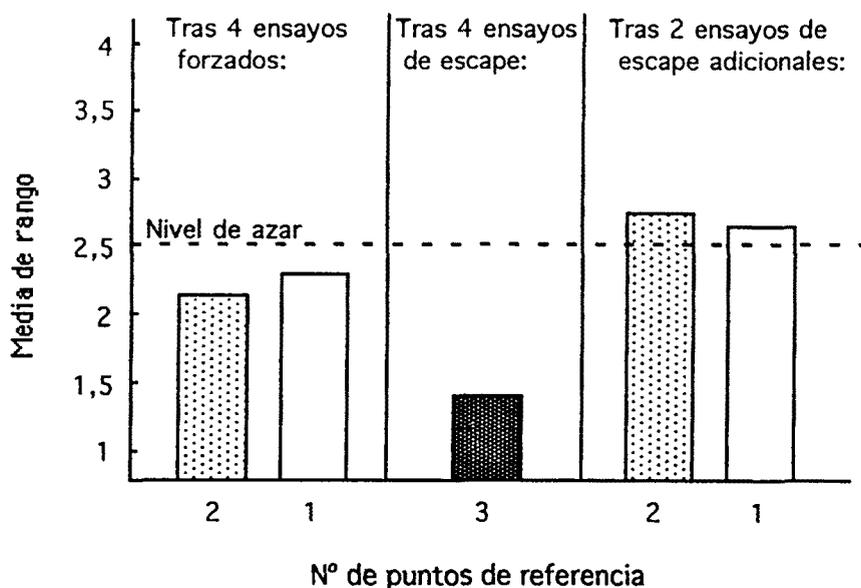


Figura 4.12.- Resultados del Experimento 3: media del rango del cuadrante de la plataforma en las distintas pruebas.

Aunque el número de ensayos forzados de este experimento fue el mismo que el de ensayos de escape del Experimento 1 y el doble que los ensayos de escape del Experimento 2, parece claro que los ensayos forzados no son tan efectivos como los de nado para que las ratas aprendan a encontrar la plataforma (ver Whishaw, 1991, para una conclusión similar). Es importante destacar que las latencias medias para encontrar la plataforma en los ensayos de escape de las dos últimas pruebas fueron muy similares (alrededor de los 30 segundos); sin embargo, con tres puntos de referencia se obtuvo una buena actuación en la segunda prueba y con sólo dos o un punto de referencia presentes, tercera prueba, la actuación fue la esperada por mero azar. Este resultado nos permite concluir que el entrenamiento forzado, con unos pocos ensayos de escape, es suficiente para producir un aprendizaje espacial significativo.

4.5.- EXPERIMENTO 4

Una vez establecido que las ratas usan nuestros puntos de referencia para localizar la plataforma y que, como en otros estudios de navegación espacial, cualquier combinación de dos o más puntos es suficiente para mantener una buena actuación, pero que no lo es un único punto

de referencia, estamos en condiciones de poder estudiar el fenómeno pavloviano básico del bloqueo en el dominio espacial. Recordemos que el fenómeno del bloqueo se observa cuando el establecimiento previo de uno de los elementos de un estímulo compuesto como señal de refuerzo, reduce o bloquea la cantidad que se aprende con respecto al otro (Kamin, 1969). En nuestro caso, queríamos saber si unas ratas después de haber aprendido a navegar hacia una meta definida por un conjunto particular de puntos de referencia, como por ejemplo A, B y C, aprenderían a usar un nuevo punto de referencia, X, cuando posteriormente se añadiese al conjunto original. Si como dicen O'Keefe y Nadel (1978, p. 94), los mapas se reajustan automáticamente siempre que existe una discrepancia entre la entrada sensorial y la representación que el animal tiene de ese ambiente, entonces, el nuevo punto de referencia, X, debería incorporarse inmediatamente en el mapa de las ratas y debería poder guiar la navegación de la misma manera que los puntos de referencia A, B ó C. En cambio, desde un punto de vista asociativo, esperaríamos que las ratas entrenadas inicialmente a utilizar tres puntos de referencia para encontrar la plataforma, aprendieran menos acerca de un cuarto punto de referencia añadido posteriormente, que otro grupo de ratas entrenadas desde un principio con los cuatro puntos de referencia.

El Experimento 4 constó pues de dos grupos de ratas (un grupo Bloqueo y otro de Control); el primero de ellos tuvo un entrenamiento inicial con tres puntos de referencia (A, B y C) y ambos grupos fueron entrenados posteriormente con cuatro puntos de referencia (A, B, C y X). Dado que en este entrenamiento se emplearon ensayos forzados en ambas fases, consideramos, en base a los resultados del Experimento 3, que las ratas actuarían por encima del nivel de azar sólo cuando se les pusiera a prueba con tres puntos de referencia. Por tanto, las ratas fueron puestas a prueba con A, C y X, para evaluar lo que habían aprendido con respecto a X en el entrenamiento con cuatro puntos de referencia, y también con A, B y C, para ver si habían aprendido la discriminación espacial básica. Además, en el Experimento 3 (y en otros trabajos piloto en los que también se utilizaba el procedimiento forzado) pudimos ver que no todos los sujetos aprendían a localizar la plataforma tras un entrenamiento de este tipo, por lo que en este experimento y también en el siguiente, adoptamos un criterio de eliminación de sujetos. Concretamente, el grupo Bloqueo, tras el entrenamiento inicial, pasó una prueba con A, B y C y se eliminaron del experimento los sujetos que pasaron menos de 35 segundos (de los 120 segundos que duraba el ensayo de prueba) en el cuadrante de la plataforma. Un criterio similar se usó en el entrenamiento con cuatro puntos de referencia con los sujetos del grupo de Control, eliminándose del experimento los sujetos que pasaron menos de 35 segundos en el cuadrante de la plataforma en los dos días de prueba con A, B y C (con la condición de que no podían eliminarse más ratas del grupo de Control de las que habían sido eliminadas en el grupo Bloqueo).

4.5.1.- Método

Sujetos y aparato . - Los sujetos fueron 30 ratas de la raza Long Evans, 15 machos y 15 hembras, de aproximadamente 6 meses de edad al inicio del experimento, sin ninguna experiencia previa y mantenidos en las mismas condiciones que en los experimentos anteriores. Los sujetos fueron asignados, igualando sexo, a cada uno de los grupos experimentales, 15 animales en el grupo Bloqueo y 15 en el grupo de Control. Siete ratas del grupo de Bloqueo fueron eliminados del experimento, dos por enfermedad (una en el entrenamiento inicial con tres puntos de referencia y otra en el entrenamiento con cuatro puntos de referencia) y cinco porque pasaron menos de 35 segundos en el cuadrante de la plataforma en la prueba con A, B y C tras el entrenamiento con tres puntos de referencia. También fueron eliminados del experimento cuatro animales del grupo de Control, porque pasaron menos de 35 segundos en el cuadrante de la plataforma en los dos días de prueba con A, B y C tras el entrenamiento con cuatro puntos de referencia. Así, quedaron un total de 8 sujetos en el grupo Bloqueo y 11 en el grupo de Control. El aparato y los puntos de referencia utilizados fueron los mismos que en los experimentos anteriores.

Procedimiento . - El experimento constó de preentrenamiento, de dos fases de entrenamiento y de pruebas. El procedimiento general seguido en todo el experimento fue el mismo que en el Experimento 3.

Inicialmente, las ratas recibieron 5 ensayos de preentrenamiento (a razón de un ensayo diario, durante 5 días) con la plataforma y sin los puntos de referencia. Los sujetos del grupo Bloqueo tuvieron el preentrenamiento justo antes del entrenamiento inicial con tres puntos de referencia, mientras que los sujetos del grupo de Control lo tuvieron inmediatamente antes del inicio del entrenamiento con cuatro puntos de referencia.

Durante el entrenamiento inicial con tres puntos de referencia, los animales recibieron 80 ensayos forzados (a razón de 8 ensayos diarios, durante 10 días) en presencia de A, B y C. Se entrenó sólo a los sujetos del grupo Bloqueo; los sujetos del grupo de Control permanecieron en sus jaulas-casa durante esta fase (Figura 4.13). Tras este entrenamiento inicial, las ratas del grupo Bloqueo tuvieron 2 días de prueba. Cada día de prueba consistió en 4 ensayos de escape (en presencia de A, B y C y la plataforma) y un ensayo de prueba (con los puntos de referencia pero sin la plataforma). En el día 1 de prueba al 50 % de los animales se les puso a prueba en presencia de A, B y C y al otro 50 % con A y C. En el día 2, a los animales que se les había puesto a prueba con A, B y C el día 1 se les puso ahora a prueba en presencia de A y C y viceversa.

En el entrenamiento con cuatro puntos de referencia, ambos grupos recibieron 40 ensayos forzados (a razón de 8 ensayos diarios, durante 5 días) en presencia de A, B, C y X. Posteriormente las ratas tuvieron 4 días de prueba. Cada día de prueba consistió en 4 ensayos de escape (en presencia de A, B, C y X y la plataforma) y un ensayo de prueba (con los puntos de referencia pero sin la plataforma). En los días 1 y 2 de prueba, a todos los animales se les puso a prueba con los puntos de referencia A, C y X, y en los días 3 y 4 con los puntos de referencia A, B, y C.

Grupos	Entrena- miento 1	Prueba	Entrena- miento 2	Prueba día 1	Prueba día 2	Prueba día 3	Prueba día 4
Bloqueo	ABC	ABC & AC	ABCX	ACX	ACX	ABC	ABC
Control			ABCX	ACX	ACX	ABC	ABC

Figura 4.13.- Diseño esquemático del Experimento 4.

4.5.2.- Resultados y discusión

La Figura 4.14 muestra la latencia media de escape de los sujetos de ambos grupos durante el preentrenamiento. En el primer día, la latencia media para encontrar la plataforma fue de 146.6 seg. en el grupo Bloqueo y de 113.3 seg. en el grupo de Control. En el día 5, estas latencias habían descendido a 33.6 y 33.9 seg. respectivamente. En un análisis de variancia de medidas repetidas resultó significativa la variable Días, $F(4,104) = 16.2$, $p < 0.001$, pero no la variable Grupos ni la interacción Grupos x Días.

En los ensayos de escape que precedieron a cada una de las pruebas (A, B y C; A y C) tras el entrenamiento con tres puntos de referencia, la latencia media para encontrar la plataforma fue de 24.57 seg. en el día 1 y de 16.96 seg. en el día 2. Este descenso no fue significativo. En la Figura 4.15 se presentan los resultados de las pruebas. En la prueba con A, B y C, un análisis de rango mostró que la actuación fue significativamente mejor que el azar (Wilcoxon $T = 0$, $p < 0.01$). En la prueba con AC, la actuación no difirió del mero azar (Wilcoxon $T = 16$, $p > 0.10$). Como esperabamos por los resultados del Experimento 3, los animales resolvían la tarea cuando habían tres puntos de referencia, A, B y C, pero no cuando se hallaban presentes sólo dos, A y C.

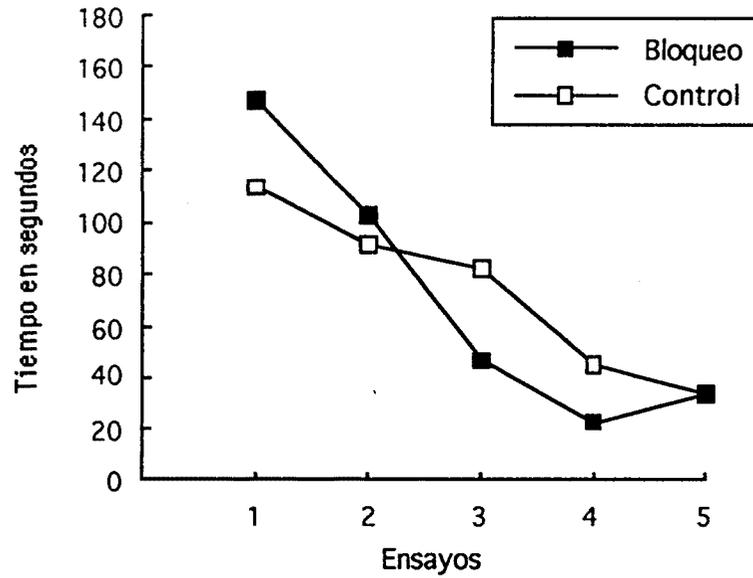


Figura 4.14.- Resultados del Experimento 4: latencia media en encontrar la plataforma durante la fase de preentrenamiento para el grupo Bloqueo y Control.

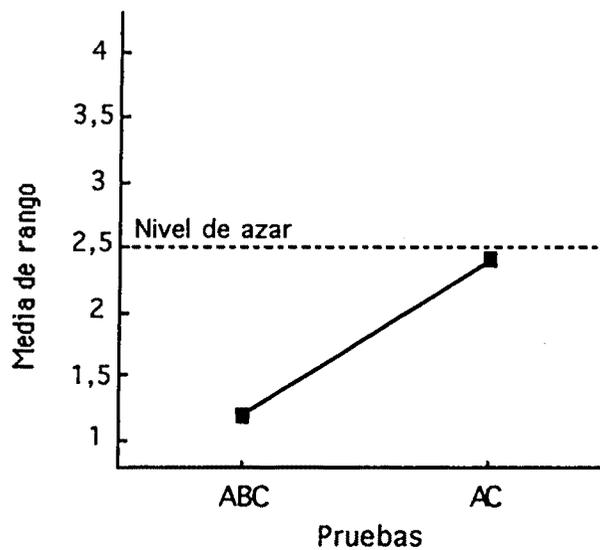


Figura 4.15.- Resultados de las pruebas tras el entrenamiento inicial con tres puntos de referencia del Experimento 4: media del rango del cuadrante de la plataforma en las distintas pruebas del grupo Bloqueo. Durante esta fase, los sujetos del grupo de Control permanecieron en sus jaulas-casa.

En los ensayos de escape que precedieron a los dos ensayos de prueba con A, C y X, tras el entrenamiento con cuatro puntos de referencia, la latencia media para encontrar la plataforma fue de 22.5 seg. para el grupo Bloqueo y de 30.6 seg. para el grupo Control. En un análisis de variancia resultó significativa la variable Grupos, $F(1,17) = 5.7$, $p < 0.05$, pero no la variable Días ni la interacción Grupos x Días. Estos resultados muestran que, en estos ensayos de escape, el grupo de Control tardó significativamente más en encontrar la plataforma que el grupo Bloqueo. Por otra parte, en los ensayos de escape que precedieron a los dos ensayos de prueba con A, B y C, la latencia media para encontrar la plataforma fue de 18.9 seg. para el grupo Bloqueo y de 25.0 seg. para el grupo Control. Estas puntuaciones no diferían estadísticamente ($F = 1.2$, $p > 0.2$).

Los resultados críticos del experimento son los de las pruebas tras el entrenamiento con cuatro puntos de referencia. En la Figura 4.16 se presentan los resultados de las distintas pruebas. En la prueba con A, C y X, análisis de rango del día 1 mostraron que no había diferencias estadísticamente significativas entre los grupos (Mann-Whitney $U = 34.5$, $p > 0.10$) y que la actuación de los sujetos no difería de la esperada por azar (Wilcoxon $T = 67$, $p > 0.10$); en cambio, los análisis del día 2 mostraron que los grupos diferían significativamente (Mann-Whitney $U = 16$, $p < 0.05$); la actuación de los sujetos del grupo Bloqueo no difería del azar (Wilcoxon $T = 16$, $p > 0.10$), mientras que la actuación de los sujetos de Control fue significativamente mejor que la esperada por azar (Wilcoxon $T = 2.5$, $p < 0.01$). Como podemos ver, en el día 2 de prueba con A, C y X se obtuvo un efecto de bloqueo. Los sujetos del grupo Bloqueo no consiguieron resolver la tarea en presencia de A, C y X, mientras que sí lo hicieron los sujetos del grupo de Control. En la prueba con A, B y C, análisis de rango del día 1 mostraron que aunque hubo diferencias significativas entre los grupos (Mann-Whitney $U = 24$, $p < 0.05$), la actuación de los sujetos de ambos grupos fue significativamente mejor que la esperada por mero azar (Wilcoxon $T = 0$, $p < 0.01$ para el grupo Bloqueo y Wilcoxon $T = 8$, $p < 0.05$ para el grupo de Control); en el día 2 no se encontraron diferencias entre grupos (Mann-Whitney $U = 37$, $p > 0.10$) y la actuación de los sujetos difería de la esperada por azar (Wilcoxon $T = 2.5$, $p < 0.01$). Tanto los sujetos del grupo Bloqueo como los del grupo de Control resolvieron bien la tarea en presencia de los puntos de referencia A, B y C.

En resumen, en el primer día de prueba con A, C y X, hubo sólo una ligera diferencia entre los dos grupos y ninguno mostró una actuación por encima del nivel de azar. Sin embargo, mientras la actuación del grupo de Control claramente mejoró en el segundo día de prueba con A, C y X, no lo hizo así el grupo Bloqueo, que mantuvo una actuación muy similar a la del día anterior. Finalmente, aunque ambos grupos actuaron por encima del nivel de azar en los dos días de prueba con A, B y C, el grupo Bloqueo tuvo una mejor actuación que el grupo de Control, particularmente en el primer día. Este experimento proporciona una demostración del fenómeno pavloviano básico del bloqueo, dentro del dominio espacial: las ratas que realmente

aprendieron a localizar una plataforma sumergida en una piscina con tres puntos de referencia, A, B y C, aprendieron menos acerca de un cuarto punto de referencia, X, cuando se añadió posteriormente que un grupo de Control entrenado desde un principio con los cuatro puntos de referencia.

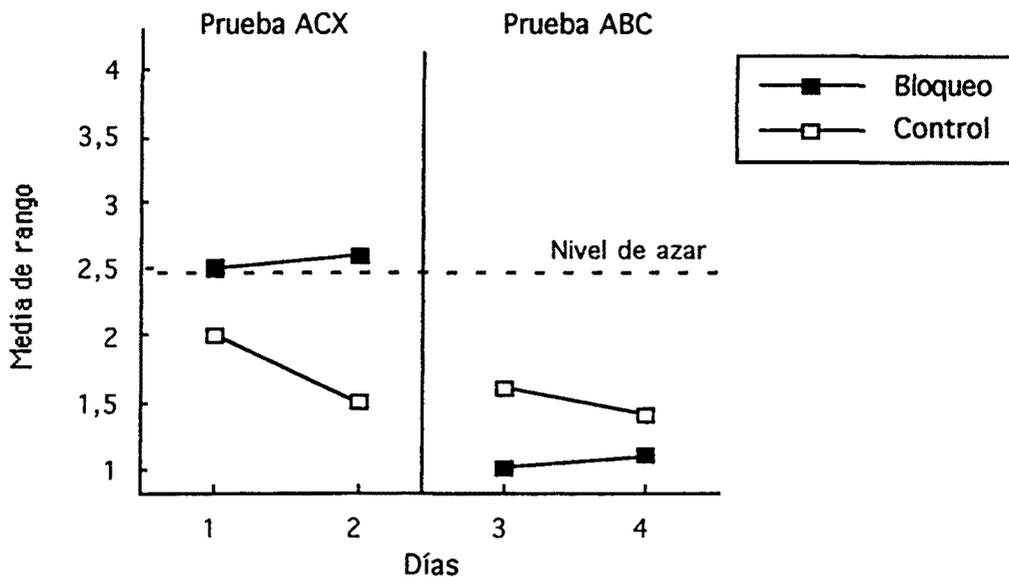


Figura 4.16.- Resultados de las pruebas tras el entrenamiento con cuatro puntos de referencia del Experimento 4: media del rango del cuadrante de la plataforma en las distintas pruebas.

Como hemos indicado anteriormente, una explicación alternativa al bloqueo sería difícil de descartar si los dos grupos hubiesen diferido en su oportunidad de aprender acerca del punto de referencia añadido, X. Efectivamente, la diferencia que encontramos entre los dos grupos en la latencia para encontrar la plataforma en los ensayos de escape que precedieron a la prueba con A, C y X, no nos permite descartar esta explicación alternativa. Si en estos ensayos de escape los sujetos aprendían acerca de los puntos de referencia, es posible que (incluso aunque ambos grupos recibieron el mismo número de ensayos forzados con A, B, C y X) el entrenamiento inicial del grupo Bloqueo con tres puntos de referencia, hiciera que estos sujetos nadaran más directamente a la plataforma en los ensayos de escape con cuatro puntos de referencia y, por tanto, tuvieran una menor oportunidad de aprender acerca de X.

4.6.- EXPERIMENTO 5

Como ya hemos visto, la diferencia que se encontró en la latencia de los ensayos de escape anteriores a las pruebas con A, C y X en el experimento anterior, ofrecen un sesgo importante en la interpretación de los resultados de estas pruebas. Por tanto, el Experimento 5 se diseñó para confirmar el efecto de bloqueo observado en el Experimento 4, empleando un diseño ligeramente diferente del anterior que consistió en que los sujetos del grupo de Control también recibieron ensayos forzados en el entrenamiento inicial, pero con un conjunto distinto de puntos de referencia. Con esta manipulación, esperábamos igualar la experiencia de los animales de los dos grupos en el entrenamiento con tres puntos de referencia y, por tanto, que no hubieran diferencias en las latencias de los ensayos de escape en el entrenamiento con cuatro puntos de referencia .

4.6.1.- Método

Sujetos y aparato .- Los sujetos fueron 20 ratas de la raza Long Evans, 10 machos y 10 hembras, de aproximadamente 9 meses de edad al inicio del experimento. Doce ratas, ocho machos y 4 hembras, habían pasado con anterioridad por un experimento de aversión al sabor, mientras que las otras 8 restantes no tenían ninguna experiencia previa. Se las mantuvo en las mismas condiciones que en los experimentos anteriores. Los sujetos fueron asignados en función del sexo, de su experiencia previa y de las latencias medias para encontrar la plataforma en los ensayos de preentrenamiento, a cada uno de los grupos experimentales, 10 en el grupo Bloqueo y 10 en el grupo de control. Un animal del grupo de Bloqueo fue eliminado del experimento porque pasó menos de 35 segundos en el cuadrante de la plataforma en la prueba con A, B y C tras el entrenamiento con tres puntos de referencia. También fueron eliminados del experimento dos animales del grupo de Control, uno por un error humano y otro por enfermedad. Así, quedaron un total de 9 sujetos en el grupo Bloqueo y 8 en el grupo de Control.

El aparato y los puntos de referencia utilizados fueron los mismos que en los experimentos anteriores con algunas excepciones. Primero, la habitación en la que estaba ubicada la piscina era diferente, aunque de características similares (debido al traslado del laboratorio a un nuevo edificio), y segundo, la iluminación de la piscina consistió en 6 bombillas de bajo consumo de 11 W (en lugar de 3 de 15 W), que ofrecían una iluminación general equivalente a 240 W (en lugar de 225 W como en los experimentos anteriores). En este experimento, también se utilizaron tres puntos de referencia adicionales. Estos fueron: -(L): una ristra de luces de colores de árbol de Navidad, con 8 bulbos de 2.75 W con una intermitencia de 15 veces por minuto; (M): un cono de cartón blanco de 16 cm de diámetro y

59 cm de alto con rayas negras de 1 cm y con una separación de 3.5 cm y (N): un cubo de cartón blanco de 20 cm de lado, con un círculo pintado de negro, de 9.5 cm de diámetro, en el centro de cada lado.

Procedimiento.- El experimento constó, al igual que el Experimento 4, de preentrenamiento, dos fases de entrenamiento y de pruebas.

Inicialmente, las ratas tuvieron 4 ensayos de preentrenamiento (a razón de un ensayo diario, durante 4 días). Esta fase fue idéntica al del Experimento 4, salvo que tanto el grupo Bloqueo como el de Control tuvieron estos ensayos simultáneamente y justo antes del primer entrenamiento.

Durante el entrenamiento con tres puntos de referencia, todos los sujetos recibieron 48 ensayos forzados (a razón de 8 ensayos diarios, durante 6 días) en presencia de A, B y C para los sujetos del grupo Bloqueo y de L, M y N para los del grupo de Control (ver Figura 4.18). Para los animales de control, la plataforma siempre estuvo entre L y M, mientras que para los animales del Grupo Bloqueo estuvo, como en el Experimento 4, entre B y C (ver Figura 4.17). Esta manipulación se hizo para evitar la generalización en el entrenamiento con cuatro puntos de referencia. Hubo dos diferencias en los entrenamientos de este experimento en comparación con los del Experimento 4. La primera fue la longitud del ensayo forzado: 60 seg. en vez de 30 seg. La segunda fue que, aunque se utilizaron las mismas configuraciones de la plataforma y los mismos puntos de salida, tras cada ensayo (tanto forzado como de escape) no se rotaban sistemáticamente la plataforma y los puntos de referencia 90°, sino que la rotación era al azar, aunque manteniendo las restricciones de los experimentos anteriores.

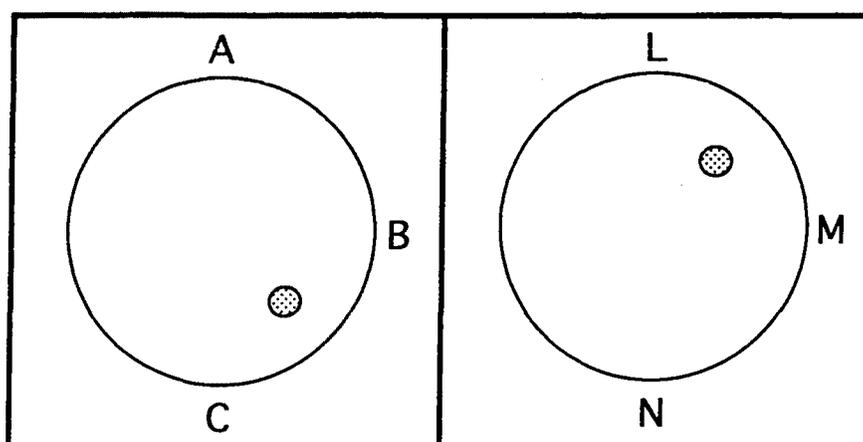


Figura 4.17.- Representación esquemática de la ubicación de los puntos de referencia y de la plataforma para los sujetos del grupo Bloqueo (izquierda) y del grupo de Control (derecha) en el entrenamiento inicial con tres puntos de referencia del Experimento 5.

Tras este primer entrenamiento, los sujetos tuvieron un día de entrenamiento breve de escape, que consistió en 4 ensayos estándar de escape (en presencia de A, B y C para los sujetos del grupo Bloqueo y de L, M y N para los sujetos del grupo de Control y la plataforma). Posteriormente tuvieron un día de prueba, que consistió en 4 ensayos más de escape y un ensayo de prueba (con los puntos de referencia pero sin la plataforma). En este ensayo de prueba, los sujetos del grupo Bloqueo fueron puestos a prueba con A, B y C y los del grupo de Control con L, M y N.

Grupos	Entrena- miento 1	Prueba día 1	Entrena- miento 2	Prueba día 1	Prueba día 2	Prueba día 3	Prueba día 4
Bloqueo	ABC	ABC	ABCX	ACX	ACX	ABC	ABC
Control	LMN	LMN	ABCX	ACX	ACX	ABC	ABC

Figura 4.18.- Diseño esquemático del Experimento 5.

En el entrenamiento con cuatro puntos de referencia, ambos grupos recibieron 32 ensayos forzados (a razón de 8 ensayos diarios, durante 4 días) en presencia de A, B, C y X. Tras este entrenamiento, los sujetos tuvieron un día de entrenamiento breve de escape, que consistió en 4 ensayos estándar de escape (en presencia de A, B, C y X y la plataforma). Posteriormente, tuvieron 4 días de prueba. Cada día de prueba consistió en 4 ensayos de escape (de nuevo, en presencia de A, B, C y X y la plataforma) y un ensayo de prueba (con los puntos de referencia pero sin la plataforma). En los días 1 y 2 de prueba, a todos los animales se les puso a prueba con los puntos de referencia A, C y X; en los días 3 y 4, con los puntos de referencia A, B y C.

4.6.2.- Resultados y discusión

La Figura 4.19 muestra la latencia media de escape durante el preentrenamiento. En el primer día, sólo nueve ratas hallaron la plataforma en los 180 segundos de tiempo límite. Sin embargo, en el día 5 todas las ratas encontraron la plataforma, con una latencia media de 38.2 seg.

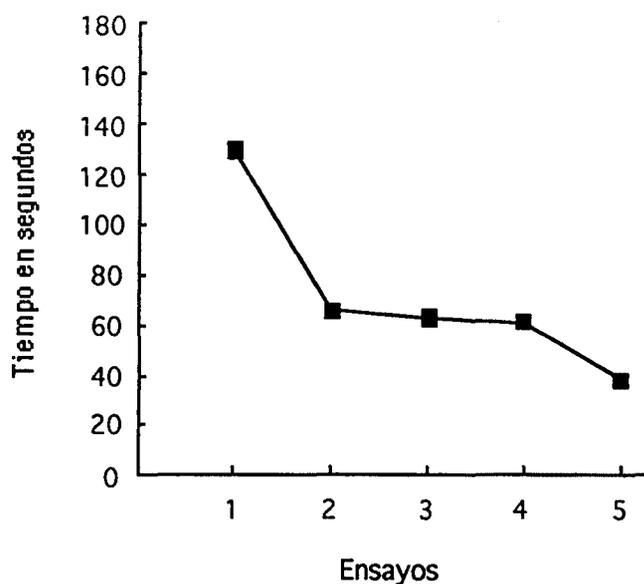


Figura 4.19.- Resultados del Experimento 5: latencia media en encontrar la plataforma durante la fase de preentrenamiento.

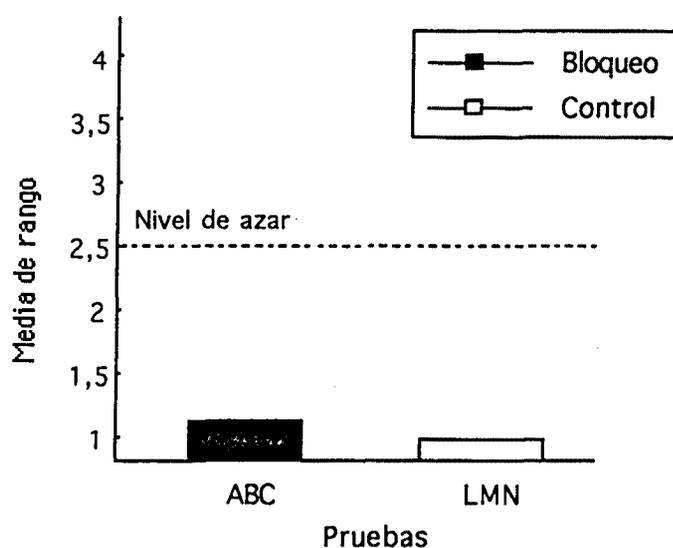


Figura 4.20.- Resultados de las pruebas tras el entrenamiento inicial con tres puntos de referencia del Experimento 5: media del rango del cuadrante de la plataforma en las pruebas. El grupo Bloqueo fue puesto a prueba con A, B y C y el grupo de Control con L, M y N.

En todos los ensayos de escape anteriores al ensayo de prueba (A, B y C para el grupo Bloqueo y L, M y N para el de Control), que siguió al entrenamiento con tres puntos de referencia, la latencia media para encontrar la plataforma fue de 30.2 seg. para el grupo Bloqueo y de 22.81 seg. para el grupo de Control. Un análisis de variancia mostró que no había ninguna diferencia estadísticamente significativa. En la Figura 4.20 se presentan los resultados de las pruebas. En las pruebas, análisis de rango mostraron que no había diferencias entre los grupos (Mann-Whitney $U = 32$, $p > 0.10$) y que la actuación de todos los sujetos fue significativamente mejor que el azar (Wilcoxon $T = 0$, $p < 0.01$). Estos resultados muestran que las ratas actuaron eficientemente tanto en presencia de A, B y C como en presencia de L, M y N. Claramente, ambas configuraciones de tres puntos de referencia resultaron eficientes en el control de la conducta de los animales cuando buscaban la plataforma.

En todos los ensayos de escape que precedieron a los dos ensayos de prueba con A, C y X, tras el entrenamiento con cuatro puntos de referencia, la latencia media para encontrar la plataforma, fue de 16.39 seg. para el grupo Bloqueo y de 24.06 seg. para el grupo Control. Un análisis de variancia no mostró ninguna diferencia significativa. En los ensayos de escape que precedieron a los dos ensayos de prueba con A, B y C, la latencia media para encontrar la plataforma fue de 16.58 seg. para el grupo Bloqueo y de 14.25 seg. para el grupo Control. Estas latencias tampoco diferían estadísticamente.

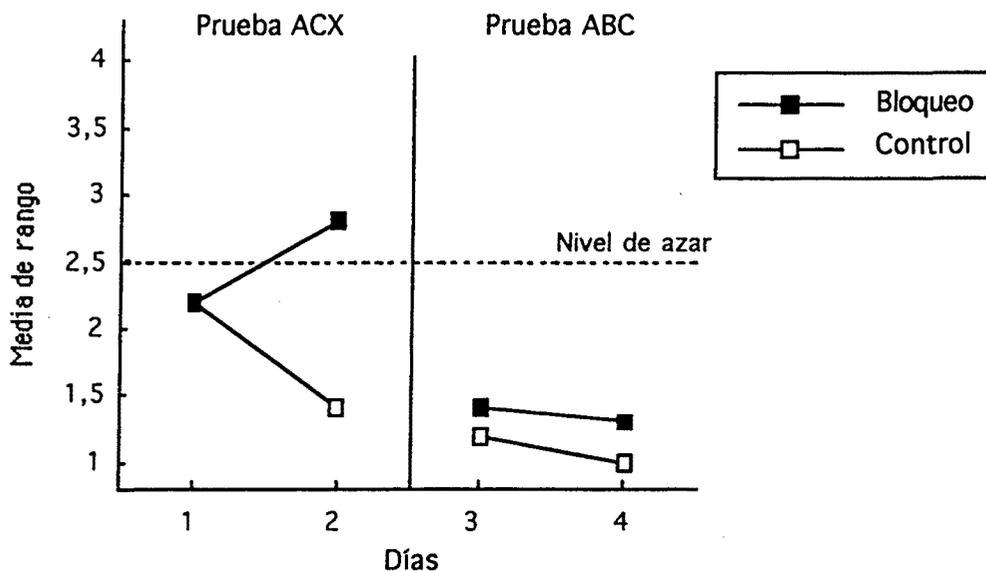


Figura 4.21.- Resultados de las pruebas tras el entrenamiento con cuatro puntos de referencia del Experimento 5: media del rango para el cuadrante de la plataforma en las distintas pruebas.

En la Figura 4.21 se presentan los resultados de las distintas pruebas. En la prueba con A, C y X, análisis de rango del día 1 de prueba mostraron los grupos no diferían (Mann-Whitney $U = 35.5$, $p > 0.10$) y que la actuación de los sujetos no difería de la esperada por el azar (Wilcoxon $T = 55.5$, $p > 0.10$); en cambio, los análisis del día 2 mostraron que había diferencias entre los grupos (Mann-Whitney $U = 11$, $p < 0.05$); la actuación de los sujetos de Bloqueo no difería del azar (Wilcoxon $T = 15$, $p > 0.10$), mientras que la actuación de los sujetos de Control fue significativamente mejor que la esperada por azar (Wilcoxon $T = 0$, $p < 0.01$). Al igual que en el experimento anterior, en el día 2 de prueba con A, C y X se obtuvo un efecto de bloqueo: los sujetos del grupo Bloqueo no consiguieron resolver la tarea en presencia de A, C y X, mientras que sí lo hicieron los sujetos del grupo de Control. En la prueba con A, B y C, análisis de rango mostraron que no había diferencias entre los grupos ni en el día 1 (Mann-Whitney $U = 29.5$, $p > 0.10$), ni en el día 2 (Mann-Whitney $U = 24$, $p > 0.05$); la actuación de los sujetos difería de la esperada por azar en ambos días (Wilcoxon $T = 5$ en el día 1 y Wilcoxon $T = 0$, $p < 0.01$ en ambos casos). De nuevo, tanto los sujetos del grupo Bloqueo como los del grupo de Control resolvieron la tarea en presencia de los puntos de referencia A, B y C.

A pesar de su diferencia en el diseño, los resultados principales de los dos experimentos de bloqueo son similares. En el primer día de prueba con A, C y X, ambos grupos se comportaron igual, nadando indiferenciadamente por los cuatro cuadrantes de la piscina. Pero, en el segundo día de prueba, la actuación de los sujetos del grupo de Control mostró que sí sabían donde debería haber estado la plataforma, mientras que los sujetos del grupo Bloqueo no. Sin embargo, ambos grupos mostraron una buena actuación en presencia de A, B y C. El paralelismo entre los resultados del Experimento 4 y 5, también sugiere que los cambios en la iluminación y en la habitación experimental no tuvieron ningún efecto sobre el patrón de resultados. Por otra parte, aunque hubo alguna diferencia entre los dos grupos en la latencia de los ensayos de escape anteriores a las pruebas con A, C y X en el Experimento 4, no las hubo en el Experimento 5. Una explicación plausible es que, en este experimento, el grupo de Control también había recibido ensayos de escape tras el entrenamiento inicial con tres puntos de referencia. Por tanto, podemos deducir que la diferencia en la actuación en las pruebas A, C y X no pueden ser atribuidas razonablemente a cualquier diferencia en las latencias de escape y sí a un efecto de bloqueo.

La implicación de estos dos experimentos es que cuando se añade un punto de referencia nuevo a una configuración familiar de puntos de referencia, las ratas no reajustan inmediatamente su mapa cognitivo, tal y como afirman O'Keefe y Nadel (1978). Por el contrario, nuestros resultados implican que, aunque las ratas pueden acabar usando la mayoría de los puntos de referencia disponibles para localizar una meta, no aprenden de manera inmediata un punto de referencia novedoso que se añade cuando están disponibles otros puntos de

referencia familiares. En otras palabras, obtuvimos bloqueo del aprendizaje de un nuevo punto de referencia, un resultado esperado desde la teoría estándar del aprendizaje asociativo.



5.- DISCUSIÓN GENERAL

Los primeros estudios en laberintos intentaron dilucidar las bases sensoriales del aprendizaje espacial. Mientras que Hull (1943) consideraba que los animales aprendían a realizar un determinada respuesta en el punto de elección (giro a la derecha o a la izquierda), Tolman (1932, 1948) consideraba que los sujetos aprendían la localización de la caja-meta reforzada en base a las claves extralaberinto de la habitación. Tolman afirmaba que los sujetos se forman un "mapa cognitivo" de la habitación; sin embargo, nunca realizó una formalización del mapa cognitivo.

Quienes realizaron una teoría formal del mapa cognitivo, aunque sólo a nivel teórico, fueron O'Keefe y Nadel (1978). Estos investigadores distinguen dos tipos de aprendizajes: el táxico y el cartográfico. El aprendizaje táxico engloba dos estrategias distintas: la estrategia de respuesta u orientación, que consiste en el condicionamiento de giros específicos a la derecha o a la izquierda en los puntos de elección -correspondiendo al condicionamiento instrumental - y la estrategia de guía, que consiste en el condicionamiento de respuestas de acercamiento a unas características intrínsecas o estímulos diferenciadores de los brazos de elección - correspondiendo al condicionamiento pavloviano-. Por otra parte está la estrategia o aprendizaje cartográfico, que requiere la formación de un mapa cognitivo espacial del entorno en el que se localizan varias partes del laberinto en relación a los distintos objetos de la habitación experimental (puntos de referencia o claves extralaberinto).

Una cuestión crítica de la formulación de O'Keefe y Nadel (1978) es que consideran que el aprendizaje táxico y el cartográfico representan dos modos diferentes e independientes de resolver un problema. Mientras que los procesos subyacentes del aprendizaje táxico serían asociativos, no lo serían en el aprendizaje cartográfico. De esta forma, aunque tanto la estrategia de guía como la cartográfica llevarían a un animal a una elección de lugar en un laberinto T, el modo de solución sería diferente. Según O'Keefe y Nadel (1978), una característica diferenciadora entre ambas estrategias es la flexibilidad del mapa cognitivo, que permite el almacenamiento y reajuste de una representación completa del entorno en respuesta a la novedad. Además, los identifican con estructuras distintas del cerebro. El hipocampo es la estructura cerebral que gobernaría el aprendizaje cartográfico, mientras que el aprendizaje táxico dependería de estructuras cerebrales extrahipocámpicas.

Una de las investigaciones que ha sido considerada como una prueba potente del uso de mapas cognitivos por las ratas ha sido la de Morris (1981), en la que utilizó una piscina circular llena de agua opaca, de la que los animales podían escapar subiéndose a una plataforma que se hallaba sumergida 1 cm. por debajo del nivel del agua. Morris demostró que las ratas aprendían a encontrar un objeto que no podían ver, oler u oír, localizando su posición en un

espacio familiar. Obviamente, las ratas aprendieron a ir directamente a la plataforma a pesar de no haber ninguna clave que definiera ese lugar más que su relación espacial con los puntos de referencia de la habitación experimental y no cabe duda de que estos resultados están a favor del aprendizaje cartográfico propuesto por O'Keefe y Nadel (1978).

Es cierto que, tal y como formula la anterior teoría del mapa cognitivo, las ratas y otros animales utilizan configuraciones complejas de puntos de referencia para localizar una meta (Morris, 1981; Suzuki, Augerinos y Black, 1980). Además, cuando las ratas han aprendido a encontrar la caja-meta de un laberinto en base a las claves extralaberinto de la habitación experimental, su actuación se deteriora si se altera la configuración global de estos puntos de referencia (Suzuki, Augerinos y Black, 1980), pero no cuando se eliminan parte de las claves extralaberinto, incluso las que están ubicadas inmediatamente detrás de la caja-meta (Barnes, Nadel y Honig, 1980; Chamizo, Sterio y Mackintosh, 1985). Estos resultados claramente muestran que los animales no habían aprendido estas tareas en base a una estrategia de guía (según O'Keefe y Nadel, 1978) o en base a un mapa no comprensivo (según Tolman, 1948), sino basándose en el conjunto de las relaciones espaciales que mantenían estos objetos o puntos de referencia de la habitación, lo cual nos hace pensar en el aprendizaje cartográfico de O'Keefe y Nadel. Sin embargo, otra cuestión bien distinta es aceptar que los procesos que están a la base de ambos tipos de aprendizaje, tático y cartográfico, son de naturaleza diferente e independiente, tal y como se deduce de las afirmaciones de O'Keefe y Nadel (1978). Morris (1981) sugirió que una manera de poner a prueba la predicción anterior podría consistir en ver si determinados fenómenos pavlovianos, tales como el bloqueo y la inhibición latente, que rutinariamente se encuentran en experimentos de condicionamiento simple, y que por tanto deben de aparecer en el aprendizaje tático, también se observan en el aprendizaje cartográfico. De ser así, esto implicaría que los procesos que se hallan a la base de ambos tipos de aprendizaje son los mismos. Es decir, si los sistemas cartográfico y tático (en su variedad de guía) representan modos de solución diferentes, tal y como afirman O'Keefe y Nadel, es de esperar que no interactúen entre sí.

En esta línea, Chamizo, Sterio y Mackintosh (1985) y March, Chamizo y Mackintosh (1992) aportaron los primeros resultados experimentales a favor de una interacción entre el aprendizaje tático (en su variedad de guía) y el cartográfico y por tanto, en contra de la predicción hecha a partir de las afirmaciones de O'Keefe y Nadel. Estos investigadores encontraron bloqueo y ensombrecimiento recíproco entre claves intra- y extralaberinto en una tarea de discriminación espacial y concluyeron que los dos conjuntos de claves interactuaban de la misma manera que lo hace cualquier otro par de estímulos en experimentos de condicionamiento pavloviano o en discriminaciones simples. Estos resultados muestran que los procesos que subyacen a las discriminaciones espaciales entre brazos idénticos de un laberinto pero que apuntan en direcciones diferentes (y que como consecuencia se definen en términos de

la relación que mantienen con respecto a puntos de referencia o claves extralaberinto) no son diferentes de los que están implicados en el aprendizaje de las discriminaciones no-espaciales (entre brazos recubiertos de caucho-papel de lija, por ejemplo). Por tanto, aunque ambos aprendizajes resultan aparentemente diferentes, pueden considerarse como dos formas de condicionamiento clásico y ello implica que la conducta espacial puede explicarse en términos meramente asociativos.

Un resultado aún más controvertido para las predicciones de O'Keefe y Nadel (1978) sería encontrar bloqueo y ensombrecimiento trabajando con aprendizaje cartográfico, es decir, en una tarea exclusivamente espacial. Si a la base del aprendizaje espacial se hallan los mismos procesos asociativos que a la base del aprendizaje no espacial, debemos esperar que los puntos de referencia espaciales compitan entre sí por ganar fuerza asociativa con la recompensa de la misma manera que ocurre con estímulos estándar en experimentos de condicionamiento y por tanto, poder encontrar fenómenos típicos del condicionamiento, como el bloqueo. Este era el objetivo principal de la presente investigación: encontrar bloqueo en el dominio espacial. Por ejemplo, si entrenábamos a un grupo de ratas a encontrar una plataforma invisible en base a tres puntos de referencia - A, B y C - la cuestión que nos planteábamos era si aprenderían o no a usar un nuevo punto de referencia - X - cuando se añadiera al conjunto original. Existen dos predicciones distintas. La teoría del mapa cognitivo de O'Keefe y Nadel predeciría que cuando se introdujera X en la situación ambiental, los animales reajustarían automáticamente su mapa del entorno, puesto que habría una discrepancia entre la entrada sensorial y la representación ya existente del mapa (O'Keefe y Nadel; Poucet, Chapuis, Durup y Thinus-Blanc, 1986); una vez introducido este nuevo punto de referencia en el mapa cognitivo, estaría disponible para guiar la navegación de las ratas de la misma manera que A, B ó C. Por otra parte, una explicación asociativa del aprendizaje espacial predeciría que el previo aprendizaje con A, B y C; bloquearía, al menos inicialmente, el aprendizaje de X.

El trabajo experimental de la presente investigación se realizó en un laberinto acuático parecido al de Morris (1981), pero con una situación que nos permitió controlar de forma óptima los puntos de referencia que se utilizaron para definir la localización de la plataforma, y que era similar a la utilizada por Suzuki, Augerinos y Black (1980) en el laberinto radial. Nuestro primer objetivo consistió en asegurarnos que las ratas aprendían a localizar la plataforma en base a la relación del conjunto de los puntos de referencia (estrategia cartográfica) y no en base a algún punto o puntos de referencia específicos (estrategia de guía) del recinto experimental.

Los resultados del Experimento 1 mostraron que tras un entrenamiento de escape largo con cuatro puntos de referencia (A, B, C y X), en los ensayos de prueba las ratas pasaban más

tiempo nadando en el cuadrante donde habría estado la plataforma que en cualquiera de los otros tres (tanto en presencia de tres como de dos puntos de referencia) y que ningún punto de referencia específico era necesario para una actuación exitosa: la presencia o ausencia de cualquier punto de referencia no afectaba a la conducta de los animales cuando buscaban la plataforma (recordemos que la propiedad que marcaba la diferencia entre la estrategia de guía y la cartográfica, era que en esta última no es necesario ningún punto de referencia en particular para que el sujeto resolviera la tarea -O'Keefe y Nadel, 1978-). Como era de esperar por otros experimentos, cualquier punto de referencia o grupo de puntos, pueden ser eliminados sin impedir que los restantes puedan especificar, por sus relaciones, un determinado lugar (Chamizo, Sterio y Mackintosh, 1985; O'Keefe y Conway, 1978). De hecho, existen pruebas fiables de que para la localización espacial se requieren al menos dos puntos de referencia (Prados y Trobalón, en prensa), puesto que dos puntos de referencia es la información mínima, pero suficiente, para esta clase de tarea (McLaren, 1995) y en este sentido, los resultados del Experimento 2 mostraron que las ratas podían resolver la tarea usando cualquier combinación de dos de los cuatro puntos de referencia, incluso después de pocos ensayos de escape, pero que eran incapaces de hacerlo con cada uno de los puntos de referencia por sí solos. En definitiva, los resultados de estos dos experimentos apoyan la idea de que los animales, en nuestra tarea, utilizan una estrategia cartográfica y no de guía cuando buscan la plataforma.

Una vez establecido que las ratas usaban los puntos de referencia para localizar la plataforma y que, como en otros estudios de navegación espacial, cualquier combinación de dos o más puntos era suficiente para mantener una buena actuación, pero que no lo era un único punto de referencia, nuestro siguiente objetivo consistió en ver si podíamos obtener bloqueo entre puntos de referencia espaciales. Un diseño de bloqueo podría implicar un entrenamiento inicial de un grupo de bloqueo con tres puntos de referencia, por ejemplo A, B y C, seguido de una segunda fase en la que este grupo y un segundo grupo, de control, fueran entrenados con A, B, C y X. ¿Aprenderían los sujetos del grupo de control más con respecto a X que los del grupo bloqueo?. Sin embargo, este tipo de diseño nos planteaba un problema importante. Cualquier diferencia entre los dos grupos en el aprendizaje de X podría deberse al hecho de que los sujetos del grupo de control, sin ninguna experiencia en la fase anterior, pasaran más tiempo nadando en la piscina durante esta segunda fase y, de este modo, tuvieran una mayor oportunidad de aprender la relación entre X, los otros puntos de referencia y la plataforma (Sutherland, Chew, Baker y Linggard, 1987). Para controlar esta explicación alternativa en nuestros experimentos de bloqueo, intentamos igualar, tanto como fuera posible, la experiencia de las ratas con los diferentes puntos de referencia durante el entrenamiento. Para esto utilizamos un procedimiento con ensayos forzados, similar al empleado en los experimentos de aprendizaje latente (por ej. Keith y McVety, 1988; Whishaw, 1991). Se trataba de que las ratas aprendieran la relación específica que mantenía la plataforma con los distintos puntos de

referencia desde la propia plataforma, con lo que se igualaba al máximo la experiencia de los animales en esta fase.

Los resultados del Experimento 3 mostraron que tras un entrenamiento forzado y después de unos pocos ensayos de escape, las ratas podían resolver la tarea con tres puntos de referencia, pero no con dos o uno. Aunque parece claro que los ensayos forzados no son tan efectivos como los de nado en enseñar a las ratas a encontrar la plataforma (ver Whishaw, 1991, para una conclusión similar), argumentamos que un entrenamiento forzado, con unos pocos ensayos de escape, resultaba suficiente para producir un aprendizaje espacial significativo; además, el entrenamiento forzado nos permitía un mayor control de la experiencia de los animales con los diferentes puntos de referencia, por lo que adoptamos este procedimiento en los siguientes experimentos.

Los experimentos 4 y 5 tuvieron un diseño de bloqueo. En el Experimento 4 entrenamos a los sujetos de un grupo Bloqueo a encontrar una plataforma en base a tres puntos de referencia, A, B y C. Posteriormente, en una segunda fase, tanto los sujetos del grupo Bloqueo como los de un grupo de Control (que no habían tenido experiencia previa con los tres puntos de referencia), podían encontrar la plataforma en base a cuatro puntos de referencia (los tres originales, A, B y C y un punto de referencia novedoso, X). En base a los resultados del Experimento 3, esperábamos que los sujetos pudieran localizar la plataforma cuando se hallaran presentes tres puntos de referencia, pero no con sólo dos puntos. Al final del entrenamiento con cuatro puntos de referencia, pusimos a prueba a todos los sujetos en presencia de A, C y X y de A, B y C. Cualquier diferencia entre los grupos en el aprendizaje del nuevo punto de referencia, X, se debería ver en la primera prueba (con A, C y X), mientras que en la segunda (con A, B y C) no esperábamos diferencias entre los grupos; esta última prueba nos confirmaría el aprendizaje espacial básico de los animales. Si como dicen O'Keefe y Nadel (1978), los mapas se reajustan automáticamente siempre que existe una discrepancia entre la entrada sensorial y la representación que el animal ya tiene de ese ambiente, el nuevo punto de referencia, X, debería incorporarse inmediatamente en el mapa de las ratas del grupo Bloqueo, con lo que deberían poderlo utilizar para guiar la navegación de la misma manera que los puntos de referencia A, B ó C. De acuerdo con esta hipótesis, no deberíamos esperar diferencias entre los grupos en la prueba con A, C y X, y si las hubiera, sería en el sentido de que los sujetos del grupo Bloqueo actuarían mejor que los del grupo de Control, ya que es razonable suponer que un reajuste del mapa llevaría mucho menos tiempo que la formación de un mapa cognitivo completo. En cambio, desde un punto de vista asociativo esperaríamos que las ratas entrenadas inicialmente a utilizar tres puntos de referencia para encontrar la plataforma, aprendieran menos acerca de un cuarto punto cuando se añadiera posteriormente que otro grupo de ratas entrenadas desde un principio con los cuatro puntos de referencia. Desde esta perspectiva se predicen resultados absolutamente contrarios a la hipótesis anterior, es decir, deberíamos

esperar diferencias entre los grupos en la prueba con A, C y X, en el sentido de que los sujetos del grupo Bloqueo tendrían una peor actuación que los del grupo de Control.

Los resultados críticos del Experimento 4 los obtuvimos después del entrenamiento con cuatro puntos de referencia. En el primer ensayo de la prueba con A, C y X, los sujetos de ambos grupos se comportaron igual, nadando indiferenciadamente por los cuatro cuadrantes de la piscina. Pero, en el segundo ensayo de prueba con A, C y X, la actuación de los sujetos del grupo de Control mostró que sí sabían donde debería haber estado la plataforma, mientras que los sujetos del grupo Bloqueo no. Tal y como habíamos previsto, en los ensayos de prueba con A, B y C, ambos grupos mostraron una buena actuación. Estos resultados proporcionan una prueba de bloqueo dentro del dominio espacial: las ratas que realmente aprendieron a ubicar una plataforma sumergida en una piscina en presencia de tres puntos de referencia, A, B y C, aprendieron menos acerca de un cuarto punto, X, cuando se añadió posteriormente, que un grupo de Control entrenado desde un principio con los cuatro puntos de referencia. Sin embargo, este resultado podía tener una explicación alternativa, debido a que encontramos diferencias entre los grupos Bloqueo y de Control en las latencias de escape anteriores a las pruebas con A, C y X. Aún existía la posibilidad de que los sujetos del grupo de Control, sin experiencia previa y claramente más lentos en los ensayos de escape previos a la prueba con A, C y X, hubieran tenido una mayor oportunidad de aprender la relación entre A, B, C y X con la plataforma, en comparación con los sujetos del grupo Bloqueo, lo que podría explicar los resultados obtenidos en las pruebas con A, C y X, tratándose por tanto de un caso de falso bloqueo. El Experimento 5 se llevó a cabo para descartar esta explicación alternativa. En este experimento, los sujetos del grupo de Control también recibieron ensayos forzados en el entrenamiento inicial, pero con un conjunto diferente de puntos de referencia (L, M y N); los sujetos del grupo Bloqueo recibieron un entrenamiento inicial con los puntos de referencia A, B y C, como en el experimento anterior. Posteriormente, tanto los sujetos del grupo Bloqueo como los del grupo de Control fueron entrenados con cuatro puntos de referencia (A, B, C y X). De nuevo, tras este segundo entrenamiento pusimos a prueba a todos los sujetos en presencia de A, C y X y de A, B y C. Los resultados de las pruebas fueron idénticos al del experimento anterior y proporcionan una demostración clara de bloqueo dentro del dominio espacial: las ratas que realmente aprendieron a ubicar una plataforma sumergida en una piscina en presencia de tres puntos de referencia, A, B y C, aprendieron menos acerca de un cuarto punto, X, cuando se añadió posteriormente, que un grupo de Control para el que los cuatro puntos de referencia eran novedosos. Además, aunque hubo alguna diferencia entre los dos grupos en la latencia de los ensayos de escape anteriores a las pruebas con A, C y X en el Experimento 4, no las hubo en este experimento, quedando por tanto demostrado que la diferencia entre los grupos Bloqueo y de Control en las pruebas A, C y X fueron debidas a un efecto real de bloqueo y no a una diferencia en las latencias de escape.

La implicación de estos dos experimentos es que cuando se añade un punto de referencia nuevo a una configuración familiar de puntos de referencia, las ratas no reajustan inmediatamente su mapa cognitivo, tal y como sería esperable desde la perspectiva de O'Keefe y Nadel. Si tenemos en cuenta que este reajuste razonablemente sería más rápido que el construir un mapa completo nuevo, el grupo Bloqueo debería aprender más con respecto a X que el grupo de Control. Por el contrario, aunque es muy posible que las ratas acaben usando la mayoría de los puntos de referencia disponibles para localizar una meta (O'Keefe y Conway, 1978; Chamizo, Sterio y Mackintosh, 1985), nuestros resultados demuestran que no aprenden de manera inmediata a navegar con un punto de referencia novedoso que se ha añadido estando disponibles otros puntos de referencia familiares. En otras palabras, obtuvimos bloqueo del aprendizaje de un nuevo punto de referencia por parte de otros puntos de referencia ya familiares, un resultado esperado desde cualquier teoría estándar de aprendizaje asociativo. En definitiva, nuestros resultados no apoyan la propuesta de O'Keefe y Nadel (1978) de que el aprendizaje cartográfico se basa en procesos diferentes e independientes de los que están a la base del aprendizaje táxico.

Recordemos que O'Keefe y Nadel (1978) identifican los aprendizajes cartográfico y táxico con estructuras cerebrales distintas, lo que les lleva a afirmar que mientras que el hipocampo es la estructura cerebral que gobierna el aprendizaje cartográfico, el aprendizaje táxico depende de estructuras cerebrales extrahipocámpicas. Sin embargo, en los últimos años se han realizado muchas investigaciones que no apoyan la restricción del sistema hipocámpico a la construcción de un mapa cognitivo. De hecho, el sistema hipocámpico también se ha relacionado con una amplia diversidad de tareas que nada tienen que ver con el aprendizaje de relaciones espaciales o con la memoria espacial, como por ejemplo la "codificación contextual" (Hirs, 1974; ver también Winocur y Olds, 1978; Davidson y Jarrard, 1991), el aprendizaje de "atributos del contexto externo" (Kesner, 1984), la "asociación configuracional" (Sutherland y Rudy, 1989; Sutherland, McDonald, Hill y Rudy, 1989), tareas de "reconocimiento" (Gaffan, 1974), la "memoria" (Mishkin, Malamut y Bachevalier, 1984), la "memoria de trabajo" (Olton, Becker y Handlemann, 1979), etc; lo cual no excluye el hecho de que el hipocampo también juegue un papel importante en el aprendizaje espacial, pero no sería exclusivo de este tipo de aprendizaje (como insisten en afirmar algunos autores, por ejemplo Biegler y Morris, 1993).

En un intento de reconciliar la literatura existente sobre el aprendizaje y la memoria animal y la función del hipocampo, Eichenbaum (1994) considera que el sistema hipocámpico está implicado en el procesamiento de comparaciones entre estímulos o ítems en la memoria y en la codificación de las relaciones que éstos mantienen, tanto si se presentan simultánea como secuencialmente. Eichenbaum propone que el sistema hipocámpico media el procesamiento de

las relaciones relevantes entre múltiples estímulos, mientras que otros tipos de procesamiento dependen de otros sistemas cerebrales. Concretamente, según este investigador el sistema hipocámpico mantiene una representación de las relaciones entre ítems en la memoria (Eichenbaum, Cohen, Otto y Wible, 1992; Eichenbaum, Otto y Cohen, 1992; Cohen y Eichenbaum, 1993), que además es muy flexible, permitiendo un uso inferencial de la información en situaciones novedosas. Por otra parte, propone que las representaciones que no dependen del hipocampo son representaciones individuales, de información específica que no requiere ninguna comparación y que son inflexibles, en el sentido de que no permiten un uso inferencial en situaciones novedosas. Estas representaciones individuales extrahipocámpicas serían similares a las caracterizadas como "asociación simple" (Sutherland y Rudy, 1989), "aprendizaje táxico" (O'Keefe y Nadel, 1978), "asociación" (Gaffan, 1974), "memoria de referencia" (Olton, Becker y Handlemann, 1979) y "memoria disposicional" (Thomas y Gash, 1988). La principal diferencia con la teoría de O'Keefe y Nadel (1978) es que Eichenbaum considera que el sistema hipocámpico está implicado en todas las tareas y en todas las clases de aprendizaje y memoria. Por tanto, las predicciones que se derivan de su propuesta es que las ratas con lesiones hipocámpicas deberían ser peores en el aprendizaje cuanto mayor fuera la demanda de una representación relacional y no cuando ésta fuera baja. Además, una vez aprendida una tarea que pudiera resolverse tanto en base a una representación relacional como a una representación individual, los animales normales deberían mostrar su habilidad para usar flexiblemente la información almacenada cuando se les pusiera a prueba en situaciones novedosas (ya que se habrían formado una representación relacional), mientras que los animales con lesiones hipocámpicas no podrían hacerlo (puesto que se habrían formado una representación individual y sólo resolverían la tarea en el contexto limitado de una repetición de la experiencia de aprendizaje). De hecho, estas predicciones sobre las lesiones hipocámpicas se han demostrado en el aprendizaje discriminativo del olor (Eichenbaum, Fagan y Cohen, 1986; Eichenbaum, Fagan, Mathews y Cohen, 1988; Eichenbaum, Mathews y Cohen, 1989; Otto, Schottler, Staubli, Eichenbaum y Lynch, 1991) y en el aprendizaje de lugar (Eichenbaum, Stewart y Morris, 1990). La implicación de que estos resultados se obtengan en una tarea de aprendizaje discriminativo en base al olor apoya la idea de que el hipocampo no trata exclusivamente con materiales específicos espaciales, como sugieren O'Keefe y Nadel, sino con cualquiera que implique una multiplicidad de relaciones entre estímulos.

El hecho de que las lesiones hipocámpicas deterioren la navegación a una plataforma invisible -tarea cartográfica en terminología de O'Keefe y Nadel- pero no a una visible -tarea de guía- (por ejemplo, Morris, Garrud, Rawlins y O'Keefe, 1982; Sutherland, Wishaw y Kolb, 1982), sugiere que los procesos que están implicados en ambos tipos de navegación difieren. Pero mientras que para O'Keefe y Nadel, ésta sería una prueba de dos tipos de aprendizaje diferentes, para Eichenbaum la diferencia vendría determinada por la distinta demanda de una representación relacional en cada una de las tareas. Cuando el animal tiene que

utilizar múltiples relaciones entre estímulos para encontrar la plataforma oculta en una piscina, tarea cartográfica, la demanda de una representación relacional es alta y por tanto, la lesión hipocámpica producirá un deterioro en la actuación (Eichenbaum, Stewart y Morris, 1990). Sin embargo, si el animal aprende a encontrar la plataforma acercándose a un estímulo o conjunto de estímulos únicos, tarea de guía, esta tarea sólo requiere una representación individual, con lo que una lesión hipocámpica afectaría poco a la actuación de los animales.

El hecho de que el sistema hipocámpico pueda estar implicado en todas las tareas de aprendizaje, no apoya la exclusión de los procesos asociativos realizada por O'Keefe y Nadel (1978) en el aprendizaje espacial, y así lo confirman nuestros resultados de bloqueo. ¿Realmente se puede explicar la navegación a una meta invisible desde un punto de vista estrictamente asociativo?. Un sistema de guía, como por ejemplo el propuesto por Deutsch (1960), implicaría que el animal asociara el estímulo-meta (o un estímulo que estuviera inmediatamente adyacente a ella) con la recompensa y que por un proceso de encadenamiento retrospectivo, asociara estímulos anteriores a lo largo de una trayectoria con el estímulo-meta, aproximándose a cada uno de estos estímulos durante el recorrido. Como podemos ver, para una teoría de guía sencilla sería relativamente fácil predecir que el previo entrenamiento con A, B y C bloquearía la adquisición posterior de X. Pero sabemos que las ratas usan configuraciones de diferentes puntos de referencia para encontrar una meta y que ninguno de ellos es absolutamente necesario para resolver la tarea, lo que nos da una buena razón para sospechar que una teoría de guía simple no proporciona una adecuada explicación de la navegación espacial.

Como Leonard y McNaughton (1990), entre otros, han argumentado, es difícil establecer que las ratas tienen una representación verdaderamente semejante a un mapa de su ambiente. Pero podemos imaginar un sistema de guía sofisticado que cuente con configuraciones de diversas claves o puntos de referencia. Una representación verdaderamente semejante a un mapa podría ser una de la que pueda derivarse nueva información espacial: dada la distancia y dirección de A a B y de A a C, podría inferirse la distancia y la dirección de B a C, incluso cuando C es invisible desde B. De esta forma, una rata en la piscina debería deducir la posición de la plataforma en base a la información recordada de la localización de la plataforma con respecto a la relación que mantendría con el conjunto de puntos de referencia (dos como mínimo). Un sistema de guía sencillo, tal como el propuesto por Deutsch (1960), no incorpora tal capacidad por parte de los animales.

Parece por lo tanto importante ver si un sistema de guía (razonablemente sofisticado), como un modelo de red, es capaz de modelar los resultados de los experimentos que aquí se han

presentado. Zipser (1986) elaboró un modelo para la navegación que denominó "coeficiente β ". Este modelo requiere la codificación de las relaciones entre un conjunto de puntos de referencia y la meta y esta codificación puede realizarse cuando el animal está en la misma meta. Esta información puede usarse posteriormente para localizar la meta desde cualquier parte y siempre y cuando los puntos de referencia sean visibles. Por ejemplo, en nuestra tarea, si el sujeto aprende la posición de tres puntos de referencia, como A, B y C, desde la misma meta (plataforma oculta), cuando posteriormente el sujeto se encuentre en otra posición desde la que pueda determinar las coordenadas de los puntos de referencia A, B y C en base a su estructura de referencia egocéntrica, podrá inferir la posición de la meta (ver Figura 5.1).

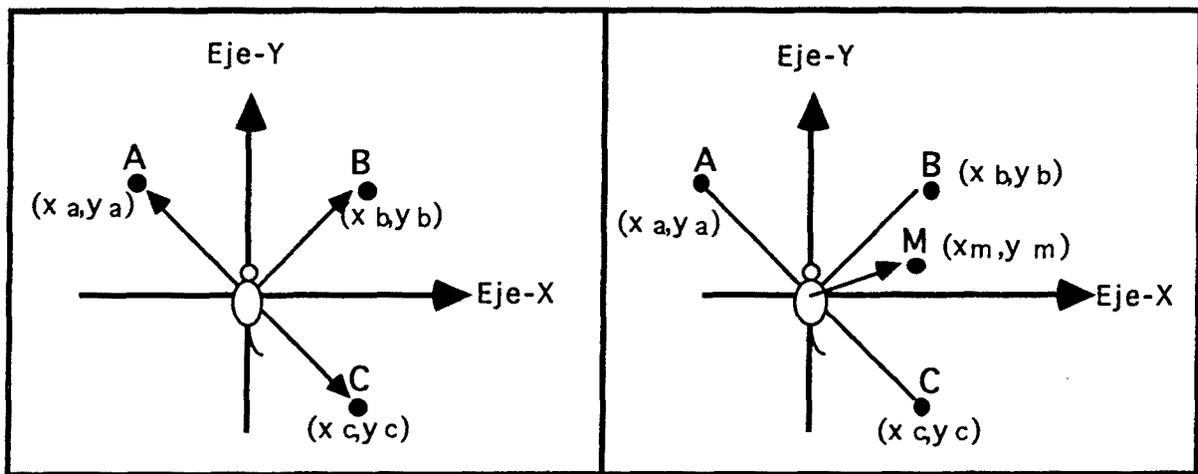


Figura 5.1.- Los animales tiene que determinar las coordenadas de los distintos puntos de referencia, A, B y C, en su estructura de referencia egocéntrica (izquierda), lo que les permitirá posteriormente inferir la posición de la meta, M (derecha).

Zipser (1986) demostró que existen tres constantes matemáticas, los coeficientes β , que dependen sólo de las localizaciones relativas de los puntos de referencia (A, B y C) y de la meta (M), y que tienen las siguientes propiedades:

$$\begin{aligned} X'_m &= \beta_a X'_a + \beta_b X'_b + \beta_c X'_c \\ Y'_m &= \beta_a Y'_a + \beta_b Y'_b + \beta_c Y'_c \\ 1 &= \beta_a + \beta_b + \beta_c \end{aligned}$$

donde $X'_m, Y'_m, X'_a, Y'_a, X'_b, Y'_b, X'_c, Y'_c$ son las coordenadas de M, A, B y C en la estructura de referencia egocéntrica del observador. Este conjunto de ecuaciones, que relacionan la

localización de la meta con la localización de los puntos de referencia, permiten obtener las coordenadas de la meta, esté donde esté el sujeto, mediante la combinación lineal de las coordenadas egocéntricas de los puntos de referencia y las β s recordadas. Así, el sujeto deberá aprender los valores correctos de las β s, que son las que le permitirán localizar la meta desde cualquier lugar siempre y cuando los puntos de referencia sean visibles. Según el modelo, si posteriormente un animal está en una posición desde donde es visible un conjunto de puntos de referencia nuevo y otro conjunto ya familiar, el animal utilizará el conjunto de puntos de referencia familiar para establecer la localización de la meta. Esta última consideración es la que capacitaría al modelo para explicar resultados de bloqueo, del tipo de los que hemos presentado en nuestros experimentos. Un animal entrenado a utilizar tres puntos de referencia, A, B y C, para localizar la plataforma, continuará usando estos tres puntos de referencia familiares cuando se le añada un punto de referencia nuevo, X.

Sin embargo, la formulación de Zipser (1986) del modelo β para la navegación tiene dos inconvenientes principales. El primero es que requiere un mínimo de tres puntos de referencia para la localización de un cuarto punto (la meta) y nosotros sabemos (por los resultados del Experimento 2 de nuestra investigación y también por otros trabajos -O'Keefe y Conway, 1978; Prados y Trolalón, en prensa-) que las ratas sólo necesitan dos puntos de referencia para encontrar una meta. El segundo inconveniente de este modelo es que requiere que las coordenadas de los puntos de referencia se estimen con precisión y esto no es siempre cierto, ya que Collett, Carwright y Smith (1986) y Collett (1987) demostraron que los roedores son capaces de navegar con sólo un punto de referencia proximal siempre y cuando haya puntos de referencia distales que permitan que los animales se orienten. Estos dos inconvenientes del modelo β son superados en una reformulación posterior realizada por McLaren (1995), la cual permite que el modelo se pueda aplicar con sólo dos puntos de referencia e incluso cuando uno de éstos está tan lejos que es difícil realizar una estimación precisa de sus coordenadas.

Según el modelo de McLaren (1995), ¿cómo encontrará el animal de la Figura 5.2 la meta (plataforma oculta)? Si la línea que une dos puntos de referencia, A y B, tiene un ángulo θ con el eje X (asumiendo que emplea coordenadas cartesianas para su estructura de referencia egocéntrica) y si la coordenada X de uno de los puntos de referencia, por ejemplo A, es X_a , entonces la coordenada X de la meta en la estructura de referencia del sujeto viene determinada por $X_m = \beta_1 \cos\theta + \beta_2 \sin\theta + X_a$. De forma similar, la coordenada Y de la meta vendrá determinada por $Y_m = \beta_1 \sin\theta - \beta_2 \cos\theta + Y_a$. Estos cálculos se aplican en cualquier lugar del entorno donde se encuentre el animal. Lo que el animal deberá aprender son los valores correctos de las constantes matemáticas β_1 y β_2 que son los que le permitirán localizar la meta (plataforma oculta).

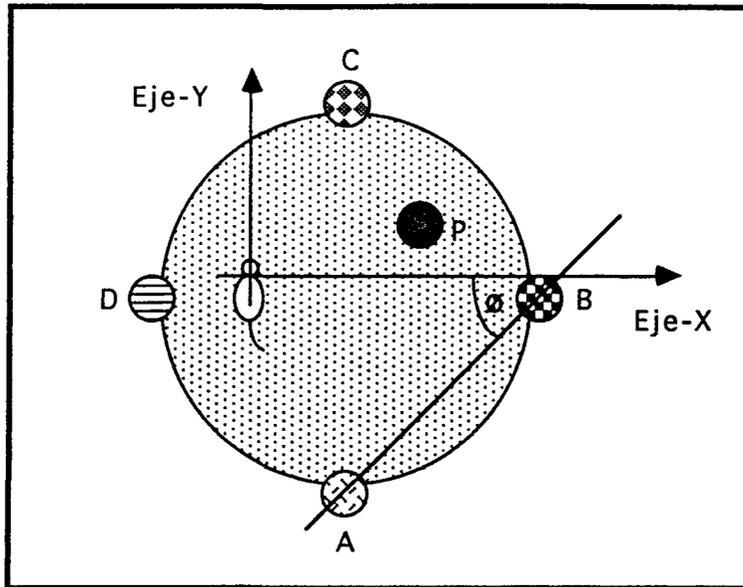


Figura 5.2.- Una representación esquemática de la piscina y cuatro puntos de referencia, A, B, C y D, al igual que la plataforma, P. Los puntos de referencia A y B mantienen un ángulo θ con el eje-X de la estructura de referencia egocéntrica actual de la rata.

McLaren (en Rodrigo, Chamizo, McLaren y Mackintosh, 1996) propone un modelo conexionista¹ simple que contiene unidades con función de activación lineal para aprender los valores correctos o pesos de β_1 y β_2 para cada combinación de dos puntos de referencia. Típicamente, los modelos lineales están formados por dos conjuntos de unidades, las unidades de entrada o input y las unidades de salida u output. Cada unidad de entrada está conectada a la unidad de salida y el aprendizaje implica modificar la fuerza o "peso" de esta conexión. La regla más utilizada para calcular cómo se modifican las conexiones, ha sido la regla delta. Según esta regla, las conexiones entre las unidades cambian sólo en la medida en que exista una discrepancia entre la entrada externa y la entrada interna a cada uno de los elementos del sistema. En el tipo de red modular² propuesto por McLaren, en cada módulo (uno para cada combinación de dos puntos de referencia) existen tres unidades input ($\cos\theta$, X_a y $\text{sen}\theta$) que dependen de los valores de X_a y θ y una unidad output (X_1 en la Figura 5.3) que dará la coordenada de la meta. Para que la red aprenda los pesos apropiados de β_1 y β_2 para dar el

¹ La premisa fundamental de un modelo conexionista es que consta de un número masivo de unidades elementales que son como neuronas y que estas unidades no transmiten grandes cantidades de información simbólica sino que realiza la computación conectándose entre ellas de un modo apropiado. Y todas las neuronas o elementos que se activan a un mismo tiempo fortalecen sus conexiones.

² En una red modular se parte del supuesto de que las unidades se reagrupan en módulos. Cada módulo recibe inputs de otros módulos y envía outputs a otros módulos.

resultado correcto, el peso de X_a se mantiene fijo en 1. Si el animal está en la meta, entonces la coordenada-X de la meta será 0 y mediante un algoritmo de aprendizaje de corrección de error (por ejemplo, la regla delta) podría ajustar β_1 y β_2 . En este punto existe un problema que consiste en que para cualquier conjunto de valores de X_a y θ , hay muchos valores de β_1 y β_2 que pueden satisfacer el requisito de que la coordenada de la meta sea cero. Sin embargo, si el animal mira alrededor de la meta, variará los valores de X_a y θ y finalmente, sólo los valores correctos de β_1 y β_2 darán el valor 0 de la coordenada-X de la meta para todas las combinaciones de X_a y θ . Una red similar trata con la coordenada Y y se aplica también para cada combinación de dos puntos de referencia.

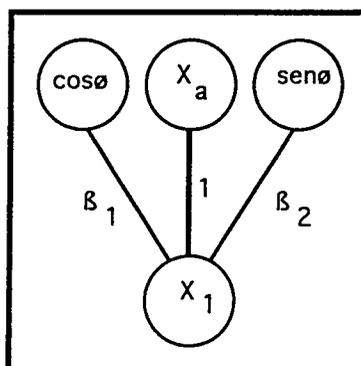


Figura 5.3.- Representación de un módulo que calcula la coordenada-X de la plataforma en base a dos puntos de referencia (por ejemplo, A y B). Un sistema similar trata con la coordenada-Y de la plataforma.

En el caso de que existan más de dos puntos de referencia en el entorno, cada posible combinación de dos puntos de referencia presentes (y que sean atendidos) generarán una coordenada con el mismo tipo de red modular descrita antes, que deberá ser cero en la meta (ver Figura 5.4). De esta manera, todas las X_s generadas a partir de cada posible combinación de puntos de referencia (X_1, X_2, X_3, X_4 en la Figura 5.4), se vinculan a una unidad final X_m que dará una coordenada-X de la meta. La normalización se realiza de forma que la activación de cada unidad X es dividida por el número de unidades X que están activas. Esto dará lugar a que se realice una respuesta correcta y que ésta sea independiente del número de puntos de referencia presentes, de forma que aunque se eliminen uno o más puntos de referencia, el sistema será aún capaz de calcular la localización correcta de la meta, siempre y cuando se hallen presentes suficientes puntos de referencia (dos como mínimo). El modelo asume que la magnitud de la señal de error viene determinada por la suma de los valores absolutos de todas las unidades X y que el signo de la señal de error para una unidad X particular es opuesto al signo de la activación

que tiene esta unidad en la meta. Este procedimiento impide que las contribuciones de diferentes unidades X neutralicen a otras, que conllevaría que el aprendizaje se detuviera antes de que cada unidad X individual hubiera desarrollado los pesos necesarios para reducir su error a cero.

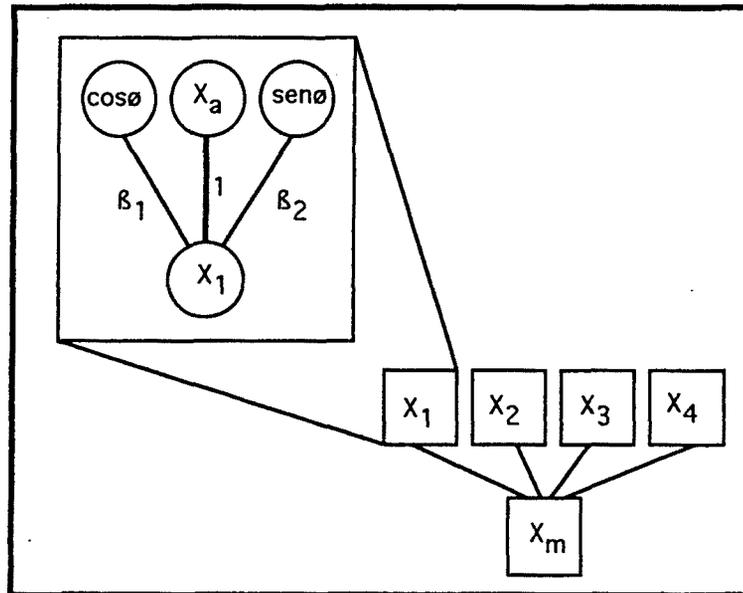


Figura 5.4.- La arquitectura del modelo. Cada uno de los módulos (X_1 , X_2 ...) calcula la coordenada-X de la plataforma de cada combinación de dos puntos de referencia. La ampliación de X_1 muestra la red necesaria para realizar este cálculo en base a dos puntos de referencia, en este caso A y B. Estos valores son normalizados por el número de módulos activos (es decir, aquellos cuyos puntos de referencia están presentes) y envían la fuerza de la unidad mediante unos vínculos fijados a un módulo X_m final que determina la conducta. Un sistema similar trata con la coordenada-Y de la plataforma.

Todas estas últimas consideraciones son las que capacitan al modelo para explicar los resultados de bloqueo obtenidos en esta investigación. Si los sujetos de un grupo de bloqueo han aprendido a localizar la plataforma en base a tres puntos de referencia, cuando posteriormente se le añade un nuevo punto de referencia, la señal de error será relativamente pequeña y el aprendizaje será consecuentemente lento. Los valores de las β s para el cuarto punto de referencia (en combinación con los otros) tardarán más tiempo en desarrollarse que si los cuatro puntos de referencia son novedosos, como en un grupo de Control, donde la señal de error sería máxima. Cuando la activación/término de error de los sujetos de Control se aproxime al valor que tiene el grupo de bloqueo al principio del entrenamiento con cuatro puntos de referencia, los pesos que incluyen el punto de referencia añadido estarán mucho más cerca de

sus valores correctos que en el grupo de Bloqueo. Por tanto, se predice que la actuación de los sujetos del grupo Control (dada la cantidad correcta de entrenamiento) será mejor que la de los sujetos del grupo Bloqueo cuando esté implicado el cuarto punto de referencia, mientras que la actuación con los tres puntos de referencia originales puede ser algo peor en los sujetos de Control en comparación con los de Bloqueo.

Realmente, este modelo se ajusta perfectamente a nuestros resultados. Sin embargo, deben realizarse otras investigaciones que demuestren predicciones derivadas de este modelo, para considerarlo como un modelo general de la navegación espacial. Una posibilidad en nuestra situación experimental, podría ser un experimento idéntico a los de bloqueo, pero en el que en el entrenamiento con cuatro puntos de referencia se cambiara la posición de la plataforma. Según el modelo, la señal de error para unos sujetos entrenados previamente con tres puntos de referencia, A, B y C, sería mayor cuando posteriormente se les entrenara con A, B, C y X si hubiera un cambio en la posición de la plataforma y por lo tanto una mayor posibilidad de aprender los coeficientes β s para el punto de referencia X en combinación con los otros. Esto podría dar lugar a una atenuación del bloqueo que, como hemos visto en el Capítulo 2, es un hallazgo común en los experimentos de condicionamiento clásico cuando hay un cambio en el reforzador. Sin embargo, confirmar esta u otras predicciones derivadas del modelo depende de investigaciones futuras.

Concluyendo, nuestra investigación aporta pruebas que van directamente en contra de la consideración de O'Keefe y Nadel (1978) de que el aprendizaje táxico y el cartográfico son aprendizajes diferentes e independientes. Evidentemente, queda mucho por investigar, pero esperamos que futuros trabajos desde la psicología y la neurociencia cognitiva nos permitan un mejor entendimiento de la orientación y la navegación espacial; en esta línea, nuestros resultados implican que cualquier modelo de navegación espacial tendría que basarse en mecanismos de aprendizaje asociativo.

6.- CONCLUSIONES

1.- Los experimentos 1 y 2 mostraron que las ratas, en nuestra situación experimental, utilizan una estrategia cartográfica para encontrar la plataforma, es decir, se sirven del conjunto de las relaciones espaciales que mantiene la plataforma con los puntos de referencia.

2.- Específicamente, el experimento 1 mostró que tras un entrenamiento de escape largo con cuatro puntos de referencia, las ratas actuaban eficientemente cuando se les ponía a prueba con cualquier combinación de dos o tres puntos de referencia, pasando más tiempo en el cuadrante donde habría estado la plataforma que en cualquiera de los otros cuadrantes restantes, y que ninguno de ellos era necesario para una buena actuación.

3.- Y el experimento 2 confirmó que las ratas podían localizar la plataforma usando cualquier combinación de dos de los cuatro puntos de referencia con los que habían sido entrenados, incluso después de pocos ensayos de escape, pero que eran incapaces de localizar la plataforma con un punto de referencia solo, lo que replica que para la localización espacial son necesarios dos puntos de referencia.

4.- El experimento 3 mostró que aunque los ensayos forzados no son tan efectivos como los de nado en enseñar a las ratas a encontrar la plataforma, éstas podían resolver la tarea con tres puntos de referencia y tras un entrenamiento de escape muy breve, pero no con dos o con uno.

5.- Los experimentos 4 y 5 mostraron un efecto de bloqueo: las ratas que inicialmente fueron entrenadas a usar tres puntos de referencia para encontrar la plataforma, aprendieron menos de un cuarto punto de referencia cuando se añadió posteriormente, que las ratas que fueron entrenadas desde un principio con los cuatro puntos de referencia.

* * *

La implicación de estos resultados es que cuando se añade un punto de referencia nuevo a una configuración familiar de puntos de referencia, las ratas no reajustan inmediatamente su mapa cognitivo, tal y como afirman O'Keefe y Nadel (1978). Más bien, los puntos de referencia espaciales compiten por asociarse con la recompensa de la misma manera que cualquier otro estímulo en experimentos de condicionamiento, tal y como predicen los teóricos asociacionistas. Nuestra investigación aporta pruebas que van directamente en contra de la consideración de O'Keefe y Nadel (1978) de que el aprendizaje cartográfico es diferente e independiente de cualquier otro aprendizaje y favorecen una explicación del aprendizaje espacial en términos asociativos.

