pAQ3453

TRAB
PS 2002
R6

Universidad Católica Andrés Bello
Facultad de Humanidades y Educación
Escuela de Psicología

Proceso local como alternativa no representacional a la explicación de la conducta de desplazamiento espacial: un estudio experimental

Dr. J. R. Robles

(Trabajo de Ascenso par optar a la categoría de Profesor Asociado)

Noviembre 2002

Índice

1. Introducción: Representación y Conducta **6**

2. La discusión Tolman-Guthrie como un problema lógico **8**
2.1. El tema de la divergencia 8
2.2. Divergencia inicial entre Tolman y Guthrie 9
2.3. Sustentación de las posiciones divergentes 12
2.4. Análisis de los argumentos 14
2.4.1. Tipo de Polémica y aspectos *regionales* 14
2.4.2. Niveles de Abstracción de la Reconstrucción de Argumentos 15
2.5. Perspectiva de la Controversia 17

3. Mentalismo contemporáneo y mapas cognitivos **19**
3.1. Vigencia de la discusión Tolman-Guthrie 19
3.2. El mapa cognitivo vive: mapas de laberintos radiales 19
3.3. El mapa dentro del cerebro: frenología contemporánea 20
3.4. Mapas cognitivos en la mente de los robots autónomos 23
3.5. Aún se necesita el buscador de ruta de Guthrie 26

4. Modelo de proceso local **27**
4.1. Generalización de estímulos 27
4.2. Modelo bidimensional 30
4.3. Evidencia en favor del modelo 31
4.4. Dependencia de las condiciones iniciales 31
4.5. Aplicacion a la conducta humana 32

5. Prueba del modelo local **34**
5.1. Descripción del Experimento 34
5.1.1. Sujetos 34
5.1.2. Diseño del laberinto 34
5.1.3. Programación del laberinto virtual 36
5.1.4. Procedimiento experimental 37
5.1.5. Consideraciones éticas 37

5.1.6. Modelo de desplazamiento bidimensional 38
5.1.7. Análisis del ajuste del modelo 41
5.2. Resultados 42
5.2.1. Desplazamiento de los sujetos 42
5.2.2. Desplazamiento Esperado a Partir del Modelo RF 48

6. Discusión **51**

7. Conclusiones **56**

Apéndice **64**

A. Procedimiento Computacional **64**

B. Programa de Simulación del Laberinto Virtual **66**

Índice de figuras

1. Actividad de las unidades que representan los estímulos 27
2. Gradiente de Generalización en Ensayos intermedios 28
3. Gradiente de Generalización en Ensayo Final 29
4. Gradiente de Generalización en Extinción 30
5. Diseño del Laberinto para el Experimento 34
6. Ruta óptima para salir del Laberinto 35
7. Ejemplo de la visión del laberinto en primera persona 36
8. Grafo conectado que representa el modelo del laberinto 38
9. Diagrama de Flujo de la Actualización de Valores V 40
10. Recorridos del Sujeto 1 43
11. Recorridos del Sujeto 2 44
12. Recorridos del Sujeto 3 45
13. Recorridos del Sujeto 4 46
14. Recorridos del Generados por el Modelo RF 48
15. Superficies finales de V_i para las cuatro entradas al laberinto . . . 50

Reconocimientos

Por su contribución con el presente trabajo:

Profesora Cristina Vargas-Irwin

A los siguientes profesores por sus enseñanzas: Gustavo Peña T., Guillermo Yáber O., Miguel Gómez A. y Luis Azagra, s.j.

Un reconocimiento especial al Profesor Miquel Ángel Gómez, por brindar condiciones favorables a la realización del presente trabajo.

A los participantes en el experimento, que por razones éticas, se mantienen anónimos.

A las siguientes insituciones:

TEX Users Group

Sun Microsystems

netlib.org

citeseer.com

Comunidad FreeBSD

Free Software Foundation

En el presente trabajo se usaron los siguientes programas: Compilador Java de Sun Microsystems, intérpretes de lenguajes de procesamiento de texto GNU SED y GNU GAWK, programa gráfico GNUPLOT.

Todo el desarrollo y ejecución del software usado en las distintas fases de la investigación se realizó bajo los sistemas operativos Linux y FreeBSD.

El código de los programas, y el texto del documento fueron realizados en los editores de texto Jed, GNU Emacs y Nirvana Editor.

El presente documento se procesó con el sistema de procesamiento de texto TEX y el paquete LATEX 2_ε, con el sistema de procesamiento bibliográfico *BiBTeX*.

Gracias a todos los que contribuyen con el software público para uso científico.

1. Introducción: Representación y Conducta

Lo que ocurre psicológicamente cuando el patrón de locomoción de un organismo coincide con una trayectoria espacial que brinda acceso a un reforzador, es objeto de al menos dos interpretaciones contrapuestas de comportamiento.

El tema del *mapa cognitivo* en la conducta de desplazamiento espacial, es una instancia de un problema más general, como lo es el del carácter *representacional* de los modelos cognitivos, en contraste con los modelos no representacionales, entre los cuales están los conductuales. Esta es una diferencia sobre la cual se puede disertar largamente. Sin embargo, para fines de investigación, la diferencia se traduce en que los modelos cuantitativos no representacionales se centran en el modelamiento del *desplazamiento*, mientras que los modelos representacionales se centran en el modelamiento de la *solución del acertijo*. Desde el punto de vista experimental, el dispositivo tradicional para estudiar el patrón de desplazamiento espacial es el laberinto. Usado en organismos no humanos, distintas formas estandarizadas de laberintos han sido estudiadas. A diferencia del desplazamiento en espacios abiertos, los laberintos experimentales permiten definir una ruta **correcta** para el desplazamiento de un punto a otro. Esta posibilidad puede llevar a caer en la tentación de entender la situación de laberinto como un enigma a descifrar, o un problema a resolver.

Describiendo la situación cuantitativamente, el problema es el desplazamiento desde un punto A hasta un punto B, lo que implica la existencia de una matriz S de coordenadas x, y, ordenadas en proximidad y tiempo, de forma tal que las coordenadas $(x, y)_0$ correspondan al momento t_0 y la ubicación A, y las coordenadas $(x, y)_k$ correspondan al momento de tiempo t_{0+k} y a la ubicación B, siendo k una constante positiva de tiempo.

En un laberinto, usando la resolución de tiempo y espacio apropiada, la matriz S es única, prestándose para la metáfora de la *solución correcta* al enigma. En un espacio abierto, a diferencia del laberinto, el número de matrices que satisfacen las condiciones de S, puede ser muy grande, dependiendo de la resolución de la unidad de tiempo y espacio usada. De modo que resulta más difícil la metáfora de la solución correcta, debiéndose acudir a otras metáforas como la orientación espacial o la cognición espacial.

La idea de la resolución del enigma, trata al laberinto como una unidad total que tiene una solución que se obtiene en forma global, como el conjunto de coordenadas, o dicho de forma más tradicional, *mapa cognitivo*, con sinónimos

como los mapas mentales, mapas perceptuales o esquematas espaciales. La tesis del presente estudio es que las coordenadas no se obtienen en su forma completa, como representación geométrica del laberinto, sino que dicho conjunto de coordenadas son el producto del registro del patrón de desplazamiento. En este sentido, el mapa es un resultado del registro experimental y no un producto cognitivo.

La tesis antes descrita plantea el contraste entre lo que se denomina un proceso global, o de procesamiento de información central, versus un proceso local, o respuesta por respuesta. El proceso local indica que el organismo tiene un patrón de desplazamiento que en determinado momento t, produce un par de coordenadas x, y, permitiendo que el registro de dichas coordenadas por parte del experimentador dando como resultado a S. Esto se contrapone a la idea de *aprender* el vector S. Sin pretender entrar en el pseudoproblema de el 'contenido' de lo que se aprende, el presente trabajo propone una extensión de un modelo de desplazamiento espacial, primero a la especie clásica preferida para ubicar los 'procesos superiores', como lo son los humanos, y luego a una situación especial, posible con las tecnologías actuales, como lo son los laberintos virtuales en primera persona.

Lo antes descrito puede resumirse como el problema del *mapa cognitivo*, problema sobre el cual hay un hito muy importante, como lo es la discusión entre Edward C. Tolman y Edwin R. Guthrie, discusión que es el foco de interés del presente trabajo. Dado que existe la posibilidad de que dicha discusión sea analizada en un plano puramente conceptual, se analiza en primer lugar el alcance de un análisis lógico de los argumentos de ambos autores.

Posteriormente, se presentan los elementos que permiten mostrar la vigencia de la discusión, y la presencia de una posición dominante, en la cual la tesis del mapa cognitivo tolmaniano permanece de forma beligerante. Luego, como una respuesta a esta tendencia y el rescate de los argumentos de Guthrie, se expone el modelo del *route finder* de Alliston Reid y John E. R. Staddon. La parte final del trabajo se dedica a probar este modelo con humanos, usando un laberinto de realidad virtual, para concluir acerca de cómo este modelo puede servir como una evidencia empírica contemporánea en favor de los argumentos que Guthrie esgrimió, en otro tiempo, en contra de la tesis representacional del mapa cognitivo. La tesis de Guthrie, rescatada por Reid y Staddon, es denominada, la tesis del *proceso local.*

2. La discusión Tolman-Guthrie como un problema lógico

Uno de los problemas de un excesivo énfasis en el análisis conceptual de ciertos asuntos, puede ser el soslayar la importancia que los modelos y los datos experimentales tienen para contribuir a dilucidar asuntos como la controversia Tolman-Guthrie. De allí la necesidad de explorar los límites que tal análisis conceptual puede tener, en el contexto de una ciencia experimental, aún usando elementos de disciplina analítica, que separen la oscuridad de la profundidad. Es necesario entonces, presentar la discusión y usar algunos elementos analíticos, no sólo para introducir el tópico de los mapas cognitivos, sino también para evaluar por contraste, la importancia de la contribución experimental.

2.1. El tema de la divergencia

En el primer tercio del siglo XX, la gran mayoría de los trabajos en aprendizaje con animales *no-humanos* (o dicho en forma antropocentrista "infrahumanos"), se reliza usando tareas de recorrido de *laberintos*. Esto plantea que el análisis metodológico que puede hacerse de los trabajos experimentales, debe partir de una *instrumentación* distinta a la que se puede observar posteriormente. De allí que una divergencia sobre el *aprendizaje* entre dos tesis en psicología experimental en la década de 1930, mal puede evaluarse simplemente como un problema en teoría del aprendizaje, sino más bien como un problema en aquéllas teorías del aprendizaje *basadas en experimentos de tarea de laberinto*. De la misma forma que cuando Skinner cuestiona la necesidad de las teorías del aprendizaje, se refiere a las teorías del aprendizaje más importantes hasta 1950, de lo cual no puede saltarse a una crítica genérica hacia el *teorizar* sobre aprendizaje (Skinner, 1950).

El abandonar o descuidar la perspectiva histórica, puede llevar a problemas de interpretación y a reconstrucciones inadecuadas de los argumentos, de lo cual, las grandes injusticias cometidas con la obra de Watson, son un ejemplo, caso en el que la perspectiva del momento histórico en teoría y metodología permite un análisis mucho más detallado de la obra de este tipo de autores (Vargas-Irwin, 1999).

El tema no es entonces, el *aprendizaje* en general, la *cognición* en general o los *mapas cognitivos* en los sistemas que se comportan, sino un caso específico de afirmaciones hechas acerca de los experimentos con animales en laberintos.

2.2. Divergencia inicial entre Tolman y Guthrie

Edward Chace Tolman, escribe un tratado general acerca de comportamiento en 1932, en el mejor estilo de los tratados generales en psicología tales como el de William James, Clark L. Hull o B. F. Skinner (James, 1890; Tolman, 1932; Skinner, 1938; Hull, 1943). Es de destacar, entonces, que la problemática que se menciona, parte de un *subconjunto* más bien pequeño de las tesis de Tolman acerca del comportamiento.

El planteamiento de Tolman, puede verse contemporáneamente como *cognitivo*, desde el punto de vista del tipo de conceptos usados para la explicación del comportamiento. Pero por otra parte, alejándose de James y más cerca de Hull y Skinner, es un planteamiento *experimental* más que discursivo, centrado en una idea de la psicología como ciencia experimental.

De allí que sus tesis acerca del aprendizaje de laberinto, pretendan estar basadas en hallazgos experimentales concretos, algunos de los cuales son del trabajo del propio Tolman y sus colaboradores y otros provenientes de otras fuentes, todos trabajos comprendidos entre 1925 y 1940. Esto es lo que permite centrar la discusión en la *interpretación* de las observaciones hechas en los experimentos de tarea de laberinto.

De los principios generales de Tolman, dos en particular pueden usarse para ilustrar su interpretación:

> *a*) El aprendizaje de laberinto involucra la adquisición mnemónica de mayor precisión y diferenciación en cada punto de bifurcación en el laberinto, relativos a las expectativas signo-gestalt.
>
> *b*) El aprendizaje de laberinto involucra una integración de las expectativas signo-gestalt en los puntos sucesivos de bifurcación dentro de una única y más extensa expectativa signo gestalt.
>
> (Tolman, 1932, Capítulo X, p. 143).

De esta forma, el aprendizaje de laberinto involucra un proceso de acumulación, usando la metáfora de la *memoria*, y un proceso de integración, en la expectativa signo-gestalt (ESG) *global* para todo el laberinto.

Ambos procesos, la acumulación y la integración, tal como se mencionan arriba, pueden ser considerados contemporáneamente como procesos del tipo *procesamiento de información*. Usando estos elementos, es posible explicar el funcionamiento *cognitivo* o la forma en que se maneja la *información*.

Nótese, que desde un punto de vista ambientalista o ecológico, la memoria, la ESG y la cognición en general son entendidas como metáforas que permiten

integrar eventos discontínuos y sucesivos en el tiempo, en forma de ventana temporal (Mulaik, 1995), metáforas que no necesariamente deben formar parte de una explicación científica del comportamiento.

Ante la interrogante, de cómo, finalmente puede explicarse el comportamiento del organismo en una tarea de laberinto, es posible encontrar una tentativa respuesta de Tolman, 16 años despúes.

> Los estímulos, a los cuales se les permite ingresar, no están conectados por simples interruptores uno-a-uno a las respuestas salientes. En lugar de esto, los impulsos entrantes son usualmente trabajados una y otra vez y elaborados dentro de un tentativo mapa cognitivo ... indicando rutas y senderos y relaciones ambientales que finalmente determinan cuáles respuestas, si acaso ocurre alguna, realizará la rata finalmente. (Tolman, 1948, p. 244-245).

Si bien no tan explícitas, la *acumulación* y la *integración*, dan origen entonces al gran producto de la cognición, que permite al organismo guiarse dentro del laberinto, como lo es el *mapa cognitivo*. Dicho mapa se elabora mediante un trabajo iterativo de la información brindada por los estímulos, ilustrando la acumulación progresiva de elementos de información, para llegar finalmente a una integración del tipo ESG, que se concreta finalmente en el mapa cognitivo.

Según este planteamiento, ya se puede explicar qué pasa con la información y qué logra el organismo con los estímulos, mientras que se niega la idea de correspondencia puntual estímulo respuesta.

Es aquí donde puede surgir una interrogante, partiendo del estudio experimental del comportamiento, acerca de lo que el organismo *hace*, desde la perspectiva de la observación del organismo dentro del laberinto. Tal como afirmara Gibson, la *locomoción*, es una función biológica básica, asunto ineludible para una teoría de la percepción visual (Gibson, 1958). Haciendo la adaptación del caso, las teorías del aprendizaje y del comportamiento, tienen varios *asuntos* básicos a los cuales deben brindar explicación, uno de esos *asuntos*, es en este caso, el *movimiento* del organismo dentro del laberinto. Pretender que la teoría de Tolman podría ignorar o eludir este *asunto*, sería pretender que su teoría no versa sobre comportamiento de organismos o que tiene un enfoque no experimental, lo cual resulta muy difícil de sostener según varias apreciaciones de la obra de Tolman.

Dentro de este escenario, surge entonces la crítica de E. R. Guthrie, hecha en el marco de un tratado general sobre psicología del aprendizaje:

> La forma de teoría de asociación que Tolman ha adoptado no usa la asociación entre el estímulo y la respuesta, sino la asociación de claves, que llamó inicialmente 'signo gestalts' y posteriormente 'expectativas de campo', con un evento mental. Las partes iniciales del laberinto (Tolman, 1933) actúan no como claves para la acción, sino como signos de que la meta se acerca, claves para la rata para esperar la meta. Por 'esperar' en este sentido, Tolman no quiere decir acción o preparación, sino un alertamiento mental de algún tipo. Su fórmula 'signo-gestalt' deja completamente intacto el problema de qué hará la rata con un signo, o cómo los signos son traducidos en actos. (Guthrie, 1952/1935, p. 143)

En primer lugar, Guthrie advierte una substitución muy común en los planteamientos cognitvos, presente en la teoría de Tolman, la cual consiste en el cambio de una proyección del tipo $\epsilon \mapsto \rho$, por una del tipo $\epsilon \mapsto \kappa$, siendo κ una forma de cognición, en este caso ESG. La explicación de Tolman, se recrea entonces en esta proyección transformada, mientras que al no existir $\kappa \mapsto \rho$, el problema de lo que el organismo *hace*, queda intacto. Esto senñala una incompletitud en la explicación de Tolman acerca del comportamiento en laberintos, la referencia al *movimiento* o los *actos* efectuados del organismo, en fin a las *respuestas*, como indicadores observables de la conducta.

Profundizando sobre dicha incompletitud, Gutrhie afirma:

> Los signos, en la teoría de Tolman, ocasionan en la rata *darse cuenta*, o *cognición*, o *juicio*, o *hipótesis*, o *abstracción*, pero *ellos no ocasionan acción*. (Guthrie, 1952/1935, p. 143)

Es decir, según Guthrie, el planteamiento de Tolman, se concreta a la explicación de la proyección $\epsilon \mapsto \kappa$. Dado que la base empírica se obtiene de ϵ, se entiende como un planteamiento experimental.

A este nivel, es posible afirmar que el problema inicial o el punto de partida de la divergencia queda planteado como la contraposición entre dos tipos de afirmaciones acerca del comportamiento en laberintos:

T) una explicación centrada en la cognición, en la cual es suficiente plantear una proyección $\epsilon \mapsto \kappa$ que substituye a $\epsilon \mapsto \rho$.

G) una explicación centrada en las respuestas, en la cual es insuficiente plantear una proyección $\epsilon \mapsto \kappa$, y es necesaria una proyección adicional $\kappa \mapsto \rho$, para poder sustituir a $\epsilon \mapsto \rho$.

2.3. Sustentación de las posiciones divergentes

Tal como está planteada la divergencia, tiene un planteamiento inicial por parte de Tolman, y una crítica por parte de Guthrie. Entendiendo el enfoque *dialógico* para el análisis de argumentos, en forma literal, se requeriría una discusión 'directa' entre ambos autores, para poder considerar esta como una situación apta para la aplicación de elementos de teoría de la argumentación. No obstante, el carácter *regional* del enfoque en el que se basa el presente trabajo, lleva a un necesario nivel de *abstracción*, en el cual el tema no es si las afirmaciones se realizan *en respuesta* a otras afirmaciones, sino si el *contenido* de las afirmaciones *se contrapone* o contradice el contenido de las otras afirmaciones. A diferencia de un análisis puramente lógico, se considera un contexto disciplinario e histórico, pero este se abstrae de la situación de *diálogo*, como se desprende de lo planteado en la introducción.

Partiendo de esto, lo que puede considerarse una *respuesta* por parte de Tolman, es el hecho mismo de insistir en su planteamiento, es decir afirmaciones del tipo T. Aproximadamente en 1960, comienza la etapa en la cual esta divergencia trasciende a sus autores originales y se convierte en la base para establecer diferentes posiciones acerca de la ciencia del comportamiento de los organismos. A partir de allí y hasta los corrientes, puede considerarse como una divergencia que se mantiene por las últimas dos terceras partes del siglo XX. En el sentido literal del *diálogo* entre Tolman y Guthrie, es una discusión breve, pero en el sentido contextual de su influencia en la teoría del comportamiento durante todo el siglo, puede considerarse como una divergencia *prolongada* en el tiempo.

Es importante destacar, la forma en que se sustentan los tipos de afirmaciones T y G, sustentación que se repite en autores contemporáneos.

Por una parte, Tolman, mantiene la idea de *mapas cognitivos*, en su artículo de 1948, siendo que la crítica de Guthrie data de 1935 (Guthrie no es citado por Tolman en este artículo). Por otra parte, en lo que puede considerarse como la respuesta más directa a Guthrie, Tolman mantiene la idea de que el *aprendizaje* consiste en un tipo de proyección $\epsilon \mapsto \kappa$, mientras que lo que tiene que ver con ρ, se refiere a la *ejecución*. Véase el siguiente párrafo, en donde explica parte de la definición de ejecución:

> ...una ejecución descubierta de esta forma es identificable sólo en términos generales, tales como aproximación, consumación, escape, evitación, examen de ensayo y error vicario, o similares. Las características de las destrezas motoras envueltas en tal ejecución no están incluidas en su definición.(Tolman, 1955)(p. 325)

La valoración del *movimiento* o lo que el organismo hace, sigue estando por debajo de la fenomenología del organismo. Aunque la distinción entre aprendizaje y ejecución tiene muchos matices y puede ser considerada incluso como un gran aporte de la teoría de Tolman, conviene insistir en la crítica de Guthrie:

> En su interés por lo que sucede en la mente de la rata, Tolman ha reunciado a predecir lo que la rata hará. En cuanto a la teoría concierne, la rata es dejada encerrada en su pensamiento, si al fin esta obtiene la caja de comida es *su asunto* , no *el asunto de la teoría.* (Guthrie, 1952/1935, p. 143, cursivas añadidas)

Este párrafo, referido por Tolman como la crítica a "la rata encerrada en su pensamiento", está presente en la edición de 1935 del texto de Guthrie. Es importante señalar que en el artículo de 1948, Tolman, *no* cita el texto de Guthrie, limitandose simplemente a reafirmar lo expresado en trabajos anteriores (Tolman, 1948), peculiaridad notable en algunas revisiones del trabajo de Tolman, en las cuales, las críticas de Guthrie no son mencionadas (Garcia, 1997).

Es en 1955 cuando Tolman cita a Guthrie, usando la frase "la rata encerrada en su laberinto", y lo hace para introducir la idea de que su enfoque podría estar en desacuerdo con otros (Tolman, 1955). Posteriormente, no hace referencia a la crítica de Guthrie. En un capítulo especial, añadido en la edición revisada de 1952, Guthrie trata como tema especial la teoría de Tolman, aunque reconociendo sus grandes aportes, muestra el gran contraste entre una presentación detallada y minuciosa de hallazgos experimentales como la que hace Skinner, con el descompromiso con los hechos experimentales por parte de Tolman. Más allá de eso, reafirma su crítica a los mapas cognitivos y las afirmaciones tipo T, como lo muestra la siguiente cita:

> La orientación puede ser demostrada sólo mediante patrones de movimiento. Los hombres demuestran la posesión virtual de un 'mapa en la cabeza' mediante el habla. Pero en este libro el habla es tratada como una forma de movimiento. Es mucho más, pero también es movimiento.(Guthrie, 1952/1935, p. 196)

Con lo cual se insiste: la teoría de Tolman usa afirmaciones tipo T, sin referencia al *movimiento* del organismo dentro del laberinto, mientras que para explicar el comportamiento, se requieren afirmaciones que contengan la proyección a ρ.

2.4. Análisis de los argumentos

Sin pretender hacer en sentido estricto, un análisis argumentativo, se presentan elementos extraídos de la teoría de la argumentación, para destacar algunos aspectos y proponer un énfasis en el análisis *regional*.

2.4.1. Tipo de Polémica y aspectos *regionales*

En un uso esquemático, tal como se advierte en la introducción, se pretende *usar* alguna forma de clasificación, para *ordenar* los elementos del la divergencia que se discute.

Sin temor a que se aprecie como un análisis en el cual la clasificación es la que maneja al análisis, en lugar de ser un análisis en el cual se maneja una clasificación, es claro que el uso de la clasificación aquí es puramente instrumental, como se desprende de un conocimiento apenas superficial de la teoría de la clasificación.

Se pretende usar lo que se denomina aquí la taxonomía de Marcelo Dascal, una clasificación más bien tentativa para polémicas científicas prolongadas en el tiempo (Dascal, 1995). Se presenta un resumen en forma tabular, para agilizar la exposición:

Polémica	Tipo de Problema	Salida
Discusión	Circunscrito	Solución
Controversia	Expansivo	Resolución
Disputa	Bien Definido	Disolución

La divergencia tratada en el presente trabajo, se denominaría una *controversia*, por varias características. Una, el tema de carácter expansivo, el cual está bien definido en principio, como el comportamiento en laberinto, pero tiene ramificaciones posteriores como el problema del *asunto* de la teoría y el papel de la locomoción como objeto de estudio. Por otra parte, no es una divergencia en la cual se admitan errores entre las partes, ni se intercambien descalificaciones, por lo que se alejaría de una Discusión o una Disputa. Por último, la divergencia entre Tolman y Guthrie, tiene su salida más clara en el plano de la acumulación de evidencia, o resolución, más que en el plano de la aclaratoria de errores o la aceptación de postulados de la otra parte.

Este es un uso no ortodoxo de la taxonomía de Dascal. De ninguna manera

se afirma que es un uso legítimamente derivado de sus ideas. No obstante, para el presente trabajo, la idea de que la salida de la Controversia, sea la disolución, via la ponderación de la evidencia acumulada, tiene al menos dos consecuencias fundamentales:

- la salida a la controversia Tolman-Guthrie, implica hallazgos experimentales y desarrollos metodológicos.
- la evaluación de la evidencia en favor o en contra de ambas posiciones es un asunto *regional* o *field variant* (Toulmin, 1958).

Es muy claro, que un análisis desde una perspectiva de teoría general de la argumentación, no brinda los elementos para juzgar asuntos de evidencia experimental dentro de una determinada ciencia, dada la variabilidad o dependencia específica de los asuntos dentro de esa ciencia. De allí que sea necesario en este caso, el uso de un enfoque desde una perspectiva *regional*.

2.4.2. Niveles de Abstracción de la Reconstrucción de Argumentos

Es posible distinguir varios niveles en la representación y reconstrucción de los argumentos (van Emeren, 1996), de los cuales interesan dos en particular, el nivel 2, en el cual se despersonalizan los argumentos, pero se mantiene su forma en el lenguaje de primer orden y el nivel 4 en el cual se representan los argumentos mediante constantes lógicas.

Nivel 2: Argumentos impersonales. Consideraciones *regionales* El análisis se plantea entre dos tipos de afirmaciones acerca del fenómeno de comportamiento locomotriz en ambientes segmentados:

1. Los organismos, para guiarse en los laberintos, hacen un mapa congnitivo (mental)
2. El comportamiento de los organismos en laberintos, muestra propiedades que se pueden representar en ecuaciones, con parámetros relativos a los estímulos y las respuestas

en el tipo 1 el asunto de la teoría es la cognición del organismo, en el tipo 2 , el asunto de la teoría es el movimiento del organismo.

La distinción entre las afirmaciones tipo 1 y tipo 2, relacionadas con las tipo T y tipo F, mencionadas anteriormente, es el eje central de muchas diatribas en las ciencias del comportamiento, pero en particular, en la justificación de la interpretación mentalista del comportamiento en situaciones de laberinto.

Estos dos tipos de afirmaciones difieren en varios aspectos:

Objeto El *objeto* de estudio es un sujeto para el tipo 1, es decir, la ciencia conductual debe estudiar al organismo, o a variantes de este, como las personas, los individuos, los seres humanos, etc., los cuales pueden considerarse como equivalentes *para efectos del presente análisis.*

Para el tipo 2, el objeto de estudio es un proceso que involucra a un sujeto, es decir el *comportamiento* del organismo, mas no el organismo.

Teoría El aparato explicativo en el tipo 1, se basa en el concepto de mapa cognitivo, mientras en el tipo 2 en un modelo matemático ambientalista (basado en estímulos).

Procedimiento Es posible que a partir de afiraciones del tipo 1, se asuma que el fenómeno en cuestión puede observarse a partir de las acciones del organismo, mientras que en el tipo 2, es más claro que las *propiedades* del comportamiento, son un producto de un análisis del comportamiento, suceptible de representar en ecuaciones, por lo que es más difícil asumir el estudio del comportamiento usando sólo las observaciones *no controladas* de las acciones del organismo. En este sentido se requiere elaborar las propiedades cuantitivas de *alto orden*, representables sólo por modelos cuantitativos.

Véase como estas consideraciones involucran un análisis intra-ciencia, en el cual los contenidos específicos de la psicología experimental son fundamentales para el análisis de la controversia.

Nivel 4: Representación con constantes lógicas.

Alcances de la lógica dentro de la controversia Entendiendo por O al organismo, S como una especie, M al mapa cognitivo, L al laberinto, C como el comportamiento, R como el repertorio, E como un modelo basado en estímulos, pueden re-escribirse los tipos de afirmaciones descritos, en la siguiente forma:

Tipo 1:

$$\forall O,\ L \rightarrow M \tag{1}$$

En donde $O \in S$, y puede reescribirse M como $\exists M$.

Tipo 2:

$$\forall C,\ L \rightarrow E \tag{2}$$

En donde $C \in R$, y puede reescribirse E como $\exists E$.

La equivalencia formal de ambos tipos de afirmaciones, es bastante clara. Esto hace recordar los casos en los cuales la formalización de modelos competidores en psicología experimental, ha dado como resultado que los modelos sean considerados como variantes notacionales (Suppes, 1991), en abierta contradicción con el estado del conocimiento en la psicología experimental, en la cual son considerados modelos opuestos e irreconciliables.

La representación en este nivel de abstracción, ilustra lo que se ha denomiado la *insuficiencia* del aporte de la lógica (van Emeren, 1996). En este caso, la representación borra las diferencias estructurales entre los planteaminentos tipo T y tipo R, dado que la problemática de la proyección $\epsilon \mapsto \rho$, por ejemplo, se pierde en el proceso de abstracción.

2.5. Perspectiva de la Controversia

Tomando como ejemplo el sistema de Toulmin, acerca de la estructura o disposición de los argumentos, en la controversia Tolman-Guthrie, uno de los problemas más complicados es lograr identificar los *warrants* (W), o justificación que permite la conexión entre datos (D) y conclusiones (C) (Toulmin, 1958). Esto plantea que existirían divergencias aún en la forma de representar los argumentos, porque lo que permite la conexión entre D y C en las afirmaciones tipo 1, puede no aceptarse en las afirmaciones tipo 2, con el inconveniente de que los datos observables a nivel experimental pueden tener múltiples formas de conexión con el tipo de conclusiones obtenidas. Esto hace que la controversia sea muy difícil de analizar aún aceptando las ventajas descriptivas de clasificarla como una controversia según la taxonomía de Dascal.

Pero en todo caso, esta superficial consideración sobre el sistema de Toulmin aplicado a la divergencia en cuestión, destaca los elementos *regionales* de la divergencia, como puede verse en otros casos (van Emeren, 1996).

Por otra parte, se evidencia el papel de la no-monotonía, en esta controversia dentro del contexto de la psicología experimental, la cual se muestra en otros temas afines, en el sentido de que los datos experimentales plantean interpretaciones que evidencian premisas no presentes anteriormente. Es decir, en el

transcurrir de las interpretaciones de los datos experimentales, los autores ponen en evidencia supuestos que alteran la forma en que pueden evaluarse sus conclusiones. Ese es el caso de varias investigaciones centradas en el tema de los mapas cognitivos (Silverberg, 1996). La no-monotonía complica las cosas a nivel epistemológico, haciendo aún más difícil el análisis de la controversia.

Estos puntos llevan a algunas conclusiones. Primero, el análisis de la controversia Tolman-Guthrie, parece requerir una aproximación *regional*. En segundo lugar, se muestra la insuficiencia de la lógica para el análisis de la controversia. En tercer lugar, es difícil hacer un análisis argumentativo de la controversia, tanto por la estructura de los argumentos, como por la existencia de argumentos no-monótonos.

Adicionalmente existe un elmento histórico, que se mezcla con las diferencias metodológicas que involucran las afirmaciones tipo 1 y tipo 2. Como se dijo, en las afirmaciones tipo 1, el *asunto* de la teoría es la cognición, y en este setido, la teoría explica desde la visión *superior* del laberinto, o en tercera persona. En las afirmaciones de tipo 2, el *asunto* de la teoría es el movimiento, o la secuencia de respuestas locales, en este sentido viendo el laberinto en primera persona, o *dentro* del laberinto.

Para las aproximaciones ambientalistas, de las cuales la psicología ecológica y el análisis experimental de la conducta son dos casos, la *locomoción* es un *asunto* fundamental de la teoría (Warren, 1998). Para los seres vivos, la locomoción separa los reinos de *metazoa* y *metaphyta* (o*animalia* y *plantae*), mientras que para las teorías, separa los enfoques locales de los globales, o los ambientalistas de los cognitivos, los no representacionales de los representacionales o los enunciados tipo 2 de los tipo 1.

Aún cuando no se plantea una salida a la controversia, al menos se descartan varias salidas aparentemente fáciles, indicando la necesidad de un tratamiento más detallado y profundo de los asuntos *experimentales*. Por otra parte, con la ayuda de algunos elementos de teoría de la argumentación, se puede destacar la inmensa trascendencia de una divergencia perdida en la historia y en las síntesis simplistas de los libros de texto.

En síntesis, el análisis lógico-argumentativo de la controversia sólo lleva a hacer más énfasis en la necesidad de crear un modelo teóricamente fundamentado y **probarlo experimentalmente**.

3. Mentalismo contemporáneo y mapas cognitivos

3.1. Vigencia de la discusión Tolman-Guthrie

Cuando se repara en las fechas de los textos de Tolman y Guthrie, es posible creer que luego de grandes avances tecnológicos, un gran auge de experimentación y desarrollos computacionales en psicología cognitiva; un tema clásico como éste, sea parte de la historia.

No obstante, hay varias muestras de la vigencia del problema *experimental* del desplazamiento espacial. Si bien, el tema de la *congición espacial* o la conducta de desplazamiento espacial, es una vasta área del conocimiento contemporáneo, sólo se presentará una breve síntesis de algunos aspectos particulares que muestran la vigencia de la discusión Tolman-Guthrie.

Sobre la selección de la bibliografía. El tema de los mapas cogintivos es suficientemente extenso como para tener que hacer alguna selección de la literatura. En este caso, la vigencia de la discusión Tolman-Gutrhie y su posible relación con lo que posteriormente se denominará como modelo RF, son los criterios que llevan a considerar la sección de la literatura que se incluye en esta exposición. De la misma forma, es necesario aclarar que dado el arreglo experimental que se usa para la prueba empírica en el presente trabajo, sólo se está considerando la evidencia relativa al desplazamiento espacial como resultado de estimulación visual, dejando por fuera otros tipos de desplazamiento, resultantes de estimulación no visual, los cuales forman un extenso conjunto de investigaciones (Wiltschko y Wiltschko, 1996; Abl, 1996; Wenseleers y cols., 2002).

3.2. El mapa cognitivo vive: mapas de laberintos radiales

A diferencia de los laberintos en **Y** o en **T**, en los cuales se basan las investigaciones que dan origen a la divergencia, mucha de la investigación contemporánea con laberintos se realiza con laberintos *radiales*. Estos permiten arreglos experimentales más complejos y en algunos casos, elaboraciones teóricas más profundas acerca de los resultados (Hoffman y cols., 1999).

De las muchas investigaciones que pueden citarse, hay una en especial que muestra la vigencia de la idea del mapa cognitivo en investigaciones experi-

mentales. En dicha investigación, se reportan cinco experimentos con ratas en laberintos radiales, usando variaciones del la técnica del reforzamiento diferencial. (Olthof y cols., 1999). Al igual que otras investigaciones del área cognitiva (Klatzky y cols., 1999), se termina concluyendo en favor de proyecciones $\epsilon \mapsto \kappa$, en donde κ en este caso, más allá del mapa cognitivo, es una forma de cognición según la cual, los organismos *realizan* operaciones matemáticas de gran complejidad (Gallistel y Cramer, 1996).

En el inicio del trabajo, los autores plantean su fundamentación en Tolman, a partir de lo siguiente:

> El término *mapa cognitivo* implica que un organismo tiene alguna comprensión global de su entorno espacial. En teorías e investigaciones recientes, tres implicaciones importantes de la teoría del mapa cognitivo han sido examinadas con animales. Estas son que los animales (a) usan relaciones entre marcas para localizar posiciones en el espacio, (b) son capaces de inferencia espacial, y (c) forman representaciones topológicas de la disposición espacial. (Olthof,1999,p. 352, cursivas en el original).

Es claro como se afirma que las ratas hacen *representaciones topológicas*, o hacen inferencias, pero en ningún caso se menciona como importante que las ratas tienen actividad locomotriz. Sigue siendo una afirmación con proyección $\epsilon \mapsto \kappa$, dejando flotante a ρ. Este es un artículo de finales de los '90, que reafirma la posición de Tolman, y que en su lista de referencias no incluye a Guthrie.

Este es sólo un ejemplo de la vigencia de la discusión Tolman-Guthrie, mostrando la importancia de revisar los usos contemporáneos de las ESG, las proyecciones $\epsilon \mapsto \kappa$ y en general el concepto mismo de **mapa cognitivo**, de forma que una posible respuesta dentro del contexto contemporáneo, pueda ser entendida adecuadamente.

3.3. El mapa dentro del cerebro: frenología contemporánea

La idea de hacer un recorrido guiado por un mapa, es una idea poderosa en el lenguaje de primer orden. Ir a una ciudad nueva, crea la necesidad de 'ubicar' los sitios de interés. No obstante, y probablemente influido por el uso del lenguaje común para asuntos técnicos, este razonamiento cotidiano puede tener muy poco que ver en la explicación de la conducta de desplazamiento

espacial. Sin embargo, como suele suceder con los procesos cognitivos como la memoria o el pensamiento, se trata de metáforas mentalistas, hoy revestidas con neologismos y costosos aparatos, pero que no terminan de resolver los problemas fundamentales de la expicación de la conducta de los organismos (Uttal, 2002).

En el caso del **mapa cognitivo**, una de las opciones contemporáneas es la de introducir la representación espacial, como guía para el desplazamiento. En este sentido, se plantea la existencia de esquematas o mapas internos, que sirven de referencia para el desplazamiento del organismo. Una idea original es la de ubicar estos mapas como simplemente *internos*, usándolos como una especie de versión del mapa de la ciudad, pero éste es un mapa *aprendido*, que se encuentra *adentro*.

Uno de los escenarios de confusión para este tipo de metáforas, lo constituye la llamada **geografía cognitiva** o **cartografía cognitiva**, interesada en el mapa cognitivo como *producto* , es decir, un mapa, en su sentido estricto, pero con una *harmonización* con el proceso de *cognición espacial*, dejando ver la idea de una representación interna del mapa, que ha sido creada especialmente para favorecer tal representación.

> Los cartógrafos se han dado cuenta desde hace mucho que los mapas no presentan el mundo directa y transparentemente. Los mapas *re*-presentan el mundo al proveer versiones de la verdad para que las mentes humanas las aprendan. En cambio, las mentes representan el mundo también, internamente como 'mapas cognitivos'. (Montello, 2002, p. 283, cursivas y comillas en el original).

Según este planteamiento, es un hecho que los mapas existen, en la versión externa y en la versión interna, la cognitiva. Es incluso posible, construir los mapas *internamente*, sin la presencia se estímulos externos, logrando una 'integración de rutas', las cuales, en el caso de los humanos puede lograrse con meras instrucciones verbales, y en otras especies con estimulación prpioceptiva(Etienne y cols., 1996).

Una vez establecido que los mapas cognitivos son *internos*, o forman parte de las representaciones internas del mundo exterior, se deja sentada la base para ir hacia el próximo escalón del mentalismo contemporáneo: la ubicación del mapa en alguna zona cerebral. Desde la habitual extirpación de áreas para demostrar que sin éllas no se puede tener una *cognición espacial* adecuada, hasta las más sofisticadas presentaciones de imágenes cerebrales, los mapas cognitivos forman parte del caudal de esutios de localización de *procesos cognitivos* en áreas cerebrales.

Hoy el mentalismo tiene una poderosa tecnología a su servicio, como lo son la tomografía axial computarizada (CAT), tomografía por emisión de positrones (PET), y la imagen de resonancia magnética (MRI). Sus resultados pueden ayudar, sgún la *neurociencia cognitiva* a ubicar el mapa cognitivo dentro del cerebro. Esta tecnología parece hacer perder la más elemental disciplina científica, llevando a prácticas metodológica y epistemológicamente cuestionables, caracterizadas por la aceptación actrítica de los resultados de tales estudios y el carácter reduccionista e ingenuo de las explicaciones.

> En qué medida un investigador particular presume que las señales del cerebro son equivalentes o simplemente un indicador de funciones mentales parece casi sin importancia. El de 'ver dentro' del cerebro - el incontestable órgano de la mente - ha sido irresistible. (Uttal, 2001, pp. 3-4).

Como se mencionó antes, los estudios de localización llegan a extremos en los cuales la cognición espacial, o los mapas cognitivos pueden ser un elmento central de la cognición, ubicados hemisféricamente, en la región de corteza visual, en el hipotálamo, varias regiones combinadas, etc. (Li, 2002; McNaughton y cols., 1996; Hickok y cols., 1999; Poucet, 1993), además del uso de sistemas biológicos genéticamente modificados para identificar compontnentes neuroquímicos de la cognición espacial.

Estos estudios muestran la vigencia del tema del mapa cognitivo para el mentalismo contemporáneo, con nuevas tecnologías, con el uso de un *neo-gestaltismo ad-hoc*, pero en general, mostrando que el mapa coginitivo como asunto del enfoque mentalista sigue vigente.

Esta ubicación del mapa cognitivo, como parte de las facultades mentales, en áreas cerebrales, forma parte del nuevo proyecto frenológico, hoy apuntalado por aparatos costosos y el glamour de la visualización cerebral, pero en el fondo sigue siendo una frenología, parte del mentalismo, que epistemológicamente tiene los mismos problemas que en las época de Gall y Spurzeim (Uttal, 2001).

Para los efectos del presente estudio, las tesis localizacionistas, tienen al menos dos inconvenientes: dejan intacto el problema del proceso psicológico básico que subyace al desplazamiento espacial, al mantener la conducta en laberinto como un problema a resolver; y en segundo lugar, muestran una gran incosistencia y un cuestionable manejo metodológico [1] (Glymour, 1994; Harpaz, 1998).

[1] Uttal (2001), expone en el epílogo del texto, el problema del *zeitgeist* cognitivo, que produce, entre otras cosas, que las revistas tiendan a rechazar los artículos que desfavorecen

3.4. Mapas cognitivos en la mente de los robots autónomos

La construcción y desarrollo de sistemas autónomos como los organismos con vida artificial ó *animats* y los robots autónomos ó humanoides; constituyen un escenario de prueba para diferentes modelos de conducta, así como para el desarrollo de teorías y modelos alternativos de la conducta.

La existencia de teorías de la mente de los robots, el planteamiento de la necesidad de estados internos para los robots autónomos; son muestras de este como un nuevo escenario mentalista(Scassellati, 2002). Desde luego, existen aproximaciones no representacionales a la robótica y a la inteligencia artificial, mucho más cercanas al planteamiento conductual, pero lo cierto es que puede identificarse un significativo movimiento mentalista dentro del área de la inteligencia artificial y la robótica (Sharkey y Heemskerk, 1996; Yeap y Jefferies, 1999; Lagoudakis y Maida, 1999; Clark y Grush, 1999).

Dentro de este contexto, la idea del mapa cognitivo tiene gran vigencia para la robótica mentalista. La evasión de obstáculos y el planeamiento de desplazamientos espaciales, es en muchos casos diseñada en forma de estrategia cognitiva, con *almacenamiento* de copias de los planos espaciales, tratando de reproducir un modelo de desplazamiento espacial, basado en la representación interna del espacio.

Esto no sólo plantea los compromisos propios de la aproximación mentalista, sino además la gran complejidad de los modelos de navegación, que en algunas oportunidades representan metáforas geométricas, al estilo de los modelos basados sobre el espacio psicológico, cumpliendo las reglas de la geometría, como isomorficas a las leyes de la conducta. Es posible ver cómo el comportamiento de un sistema biológico es usado como modelo para la conducta de desplazamiento de un robot autónomo, pero luego, este modelo es representado en términos de un algoritmo que satisface propiedades geométricas representacionales, sin una real vinculación con los procesos conductuales de los sistemas biológicos en que fue inspirado(Weber y cols., 1999).

En este sentido, la representación geométrica del espacio y la satisfacción de condiciones en pruebas de campo de robots autónomos, parecen tener una precedencia metodológica sobre la base experimental del modelo de conducta del organismo o sistema biológico. Esto deja el problema de la robótica mentalista,

---

las hipótesis de localización de procesos cognitivos. Este es el caso del artículo de Harpaz (1998), el cual no está publicado. Dicho artículo incluye una revisión bibliográfica que muestra, en forma contundente, la inconsistencia de los resultados de estudios de imagen cerebral.

acerca de los mapas cognitivos en el mismo estatus de la discusión Tolman-Guthrie, la conducta espacial, sobre todo en campos con obstáculos, es tratada desde una perspectiva privilegiada, mirando al campo de desplazamiento, desde 'arriba', con conocimiento previo del sistema de coordenadas y con una planificación algorítmica del patrón de movimiento.

Existe, además otro razgo común, que tiene características similares a la aproximación descrita sobre la *cartografía cognitiva*, que introduce la tesis de la 'correspondencia' entre el ambiente y la representación interna. Así como un buen mapa debe ser apropiado para 'la forma en que trabaja la mente humana', los sistemas autónomos están condicionados a tal correspondencia:

> La tesis principal de esta literatura es que algunos ambientes (generalmente ambientes naturales) mejoran el funcionamiento porque éstos *resuenan* con la estructura cognitiva humana. Por ejemplo, muchos estudios han mostrado que los ambientes naturales reducen las demandas atencionales en humanos; posteriormente, experienciar estos ambientes puede tener una especie de impacto cognitivamente restaurativo, llevando a un desempeño mejorado..
> (Chow, 1999, p. 18, cursivas añadidas).

Este texto se refiere a la literatura acerca de los mapas cognitivos y los ambientes naturales. Como puede verse, al igual que un mapa cartográfico es mejor en la medida que corresponde al funcionamiento de la mente, el desempeño en los ambientes naturales es un desepmeño 'mejorado' por la correspondencia de este ambiente con las "estructura cognitiva"de tal forma que sus propiedades espaciales 'resuenan' en las profundidades de la cognición.

La robótica cognitiva, puede ser otro enclave tecnológico que esconde y protege las clásicas ideas del mentalismo, desde la representación interna, hasta la teleología:

> 3.Un sistema es determinístico y teleológico si hay una ley que produce los valores de x_t dados los valores de x_{t+1} en el próximo paso temporal.
> 4. Un sistema es no-determinístico y teleológico si hay una ley que produce la distribución de probabilidad de posibles valores x_t dada la distribución de probabilidad de posibles valores de x_{t+1} en el próximo paso temporal. (van Looke, 2002, p. 88)

Estos dos tipos de sistema teleológico, se contraponen a sistemas 'causales', tipo 1 y 2, los cuales responden a leyes de determinación eficiente. Como puede verse, un sistema artificial puede estar diseñado para reproducir los más clásicos conceptos mentalistas, como las intenciones o el propósito. De esta forma, el sistema de navegación de un robot autónomo puede cumplir con las características de un auténtico agente cognitivo, rescatando la noción tolmaniana de la ESG, y en todo caso incorporando el mapa cognitivo como la base para el desplazamiento espacial de los robots autónomos.

Desde otra perspectiva, la ausencia de la representación interna de los procesos es presentada como una limitación de los robots, centrando entoces el problema en el asunto fenomenológico de la experiencia de aprendizaje para el robot:

> Debido a diferencias corporales, un robot no aprende como un animal. Aunque los robots pueden ser usados para el modelamiento de del condicionamiento operante y clásico en una manera más realista que las simulaciones, y las RNAs pueden ser usadas como controladores para modelar los mecanismos del aprendizaje, el robot no está aprendiendo nada biológica o psicológicamente significativo. Sin un cuerpo integrado no experiencia placer o dolor en el aprendizaje por reforzamiento; sólo hay cambios de ponderaciones o cambios de programas. La experiencia putativa actual de un robot bajo aprendizaje por reforzamiento es la misma para la recompenza y el castigo. El organismo, por otra parte, es movido por sus aversiones y necesidades corporales. (Sharkey, 1998, p. 18)

Como puede verse en esta cita de Sharkey, para la robótica mentalista es, más allá de algo sin interés, un inconveniente, el modelamiento funcional del aprendizaje. Lo importante parece ser la vida interior del robot, en este caso, el mundo debajo de la coraza. Esto no es más que la reivindicación de las proyecciones tipo $\epsilon \mapsto \kappa$, como **más importantes** que las proyecciones tipo $\epsilon \mapsto \rho$.

En general, a diferencia de las explicaciones neuro-reduccionistas, los científicos y tecnólogos de la robótica deben generar *reglas de acción* que definan el movimiento del agente autónomo. Estas reglas pueden ser creadas en forma de umbral ó como restricciones de tipo geométrico que deben satisfacerse, pero que muy poco tienen que ver con procesos psicológicos elementales (Weber y cols., 1999; Kuffner, 2002; Kagami y cols., 2002; Ju y cols., 2002; Chen y cols., 2002; Shatkay y Kaelbling, 2002), o incluso pueden ser de menor importancia

que la reproducción de la vida mental interna, llevando nuevamente a la vacua complejidad de la *cognición* dejando intacto el problema Tolman-Guthrie.

3.5. Aún se necesita el buscador de ruta de Guthrie

Un criterio para determinar si se tiene o no un conocimiento teórico sobre un aspecto de la conducta, es si existe una explicación compatible con conceptos teóricos generales, que permita identificar los proceos básicos involucrados en un fenómeno conductual. En este sentido, la explicación del asunto del mapa cognitivo, por vía de la frenología, o la fuerza bruta computacional de algoritmos geométricos, deja varios puntos de incertidumbre, como la identificación de los procesos básicos involucrados en el desplazamiento espacial, y la compatibilidad de los términos *ad hoc* utilizados, con el resto del cuerpo teórico de la ciencia psicológica.

El buscador de ruta, de Guthrie, más que un homúnculo remozado por el electrodo de células individuales, o el brillo de un robot autónomo; se relaciona con el proceso psicológico que permite al organismo desplazarse espacialmente, en relación a las características ambientales. Es decir, cómo la respuesta de desplazamiento guarda relación con los parámetros ambientales, en términos de procesos psicológicos. La frenología contemporánea apunta hacia lo que ocurre en el cerebro, los robots cognitivos muestran como la cartografía y la geometría pueden reproducir el resultado del desplazamiento. En ambos casos, el enfoque es mentalista y reductivo del proceso psicológico a elementos *ad hoc* traídos de la geometría o de la fisiología neural, o a las categorías descriptivas del lenguaje ordinario.

4. Modelo de proceso local

4.1. Generalización de estímulos

En una investigación reciente, se rescata la divergencia, reconociendo la importancia del planteamiento de Tolman, pero intentando brindar la salida a la crítica de Guthrie, en este sentido, los autores intentan completar la proyección $\kappa \mapsto \rho$, con un modelo de difusión, que denominaron el *route finder*, y que en su versión bidimensional, se denominará modelo RF.

El modelo básico de difusión unidimensional se define como:

$$\Delta V_i = \alpha \left[(V_{i+1} - V_i) + (V_{i-1} - V_i) \right], \qquad 0 < \alpha < 0{,}5 \tag{3}$$

(Staddon y Reid, 1990; Reid y Staddon, 1998, Ecuación 1) En donde V_i es el valor de la unidad de acivación i, Δ representa el cambio de un momento t a un momento $t+1$, mientras que $i-1$ indica una unidad adyacente.

Si $V_i > V_i + 1$ entonces V_i transferirá parte de su valor a $V_i + 1$, resultando en un proceso de difusión, según el cual en el siguiente momento de tiempo, el valor de V_i decrecerá y el de $V_i + 1$ aumentará de acuerdo al parámetro de tasa de difusión α. Este modelo puede simular gradientes de generalización de

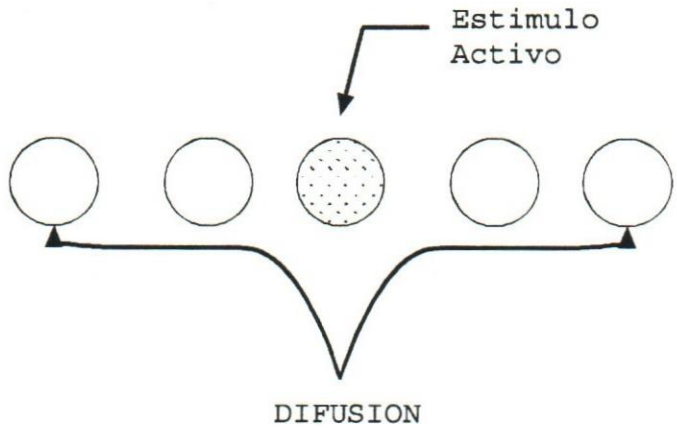

Figura 1: Actividad de las unidades que representan los estímulos

distintas formas, en general, en los ensayos reforzados, el gradiente es de alta discriminación, en forma de distribución exponencial doble, mientras que si el modelo se deja iterar varias veces en extinción, se obtiene un gradiente más difuso,

similar a una distribución gaussiana. Este modelo de generalización fue usado en el contexto de una discusión acerca de la generalización y la similaridad entre estímulos como procesos relacionados (Shepard, 1987), brindando una respuesta no representacional al asunto del carácter de la generalización de estímulos.

El modelo representado por la ecuación 4.1, forma parte de los modelos conexionistas de la generalización de estímulos, aunque no es considerado estrictamente un modelo de redes neuronales. Adicionalmente, se inserta dentro del gran conjunto de modelos matemáticos de la generalización de estímulos, como un modelo que incorpora la dinámica temporal en el proceso (Bush y Mosteller, 1951; Blough, 1975; Pearce, 1987; Pearce, 1994; Robles, 1998; Cheng, 2002).

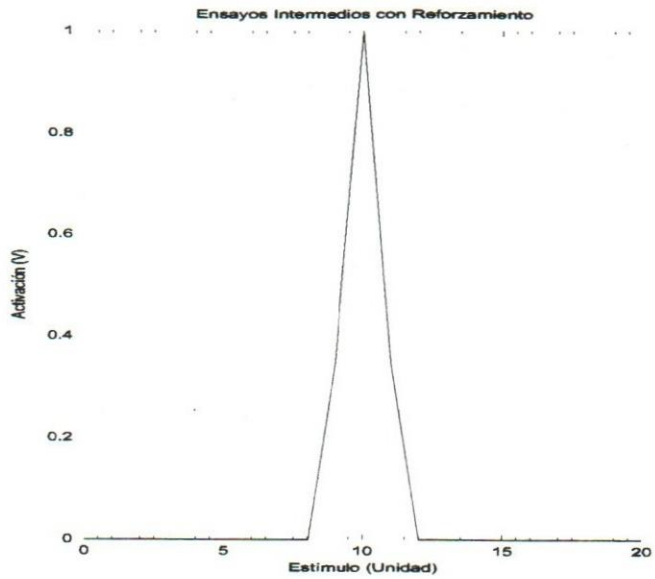

Figura 2: Gradiente de Generalización en Ensayos intermedios

Es de notar que aunque los gradientes aquí presentados reproducen con exactitud los encontrados en Staddon (2001) y Reid y Staddon(1990), los diagramas que se presentan son de una simulación independiente, hecha para el presente trabajo, con parámetros diferentes a los de los documentos antes mencionados. Para el presente caso, la simulación, durante la primera fase, la unidad número 10 era reforzada bajo un programa IF5, es decir, cada 5 iteraciones $V_{10} = 1$, mientras que en las iteraciones no reforzadas $V_{10} = 0$. En la segunda fase, también de 25 iteraciones, la unidad 10 no es reforzada y su valor se estima usando

la ecuación de difusión. Para ambas fases $\alpha = 0{,}15$.

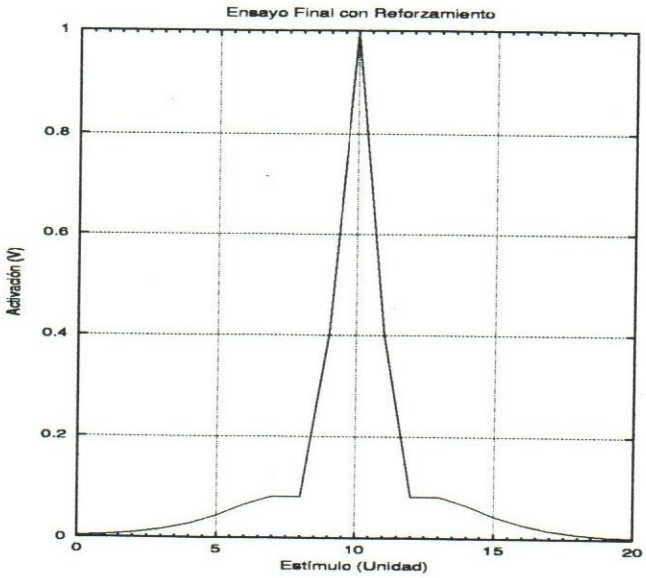

Figura 3: Gradiente de Generalización en Ensayo Final

Los gradientes presentan tres características de la dinámica del modelo. Como se mencionó antes, son resultado de una simulación hecha con fines ilustrativos del modelo, con un total de 21 estímulos, en donde los estímulos son representados por las unidades dese 0 hasta 20, en donde la unidad número 10, representa el estímulo reforzado, bajo un programa IF5. En el gradiente de generalización en ensayos intermedios, se presenta la dinámica del gradiente en varios de los ensayos que fueron reforzados durante las primeras 25 iteraciones. El gradiente de generalización en ensayo final, muestra el último ensayo reforzado; mientras que el gradiente de generalización en extinción, muestra los valores V del último ensayo de la segunda fase, luego de 25 iteraciones sin reforzamiento.

Tal como en Staddon (2001), el modelo simula apropiadamente la dinámica del proceso de generalización de estímulos, pudiendo incluso reproducir fenómenos como el desplazamiento de pico. Este modelo puede considerarse como un modelo de red neural de una sola capa, o también como un modelo mecanicista y determinista, ya que no contiene términos estocásticos o reglas heurísticas, sin embargo, lo más importante para el presente contexto, es que la ecuación de difusión, usando sólo las propiedades del aprendizaje por reforzamiento, puede

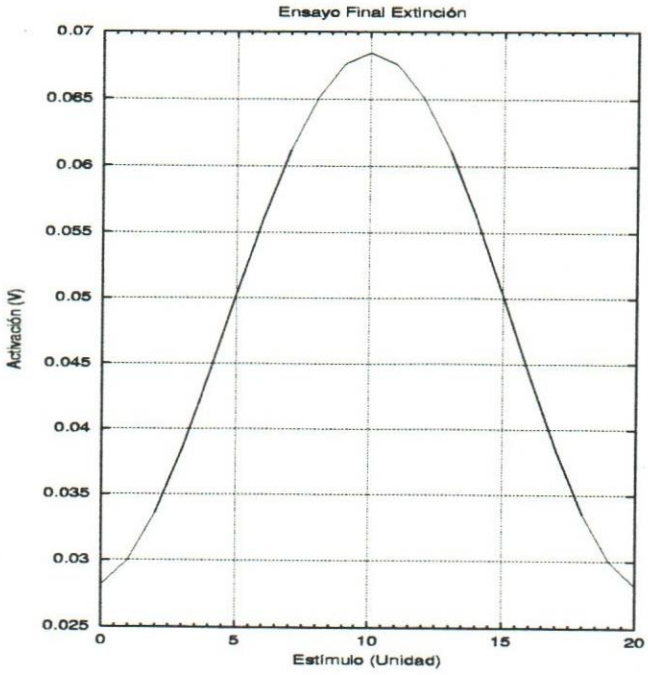

Figura 4: Gradiente de Generalización en Extinción

reproducir la compleja dinámica del proceso de generalización. Esto puede extenderse al comportamiento espacial como se desarrolla en la siguiente sección.

4.2. Modelo bidimensional

La versión bidimensional:

$$\Delta V_i = (\alpha/N_i)\sum_{j=1}^{N}(V_j - V_i), \qquad j \neq i \quad 0 < \alpha < 1 \tag{4}$$

Si bien este modelo puede ser denominado conexionista, la metáfora neural es eludida por sus autores, y toda la interpretación se basa exclusivamente en el proceso de generalización de estímulos. El modelo RF guarda relación con otros modelos de navegación espacial (Schmajuk y Blair, 1993; Trullier y cols., 1997), no obstante, se distingue por ser un modelo determinístico, basado sobre un proceso simple, como la generalización y más que un modelo de redes neuronales,

es un modelo de elementos determinísticos conectados, al estilo de los modelos de circuitos caóticos (Gregson, 1995; Ogorzalek y cols., 1996).

Este modelo de difusión puede simular el comportamiento espacial con la sola suposición de proceso de generalización de estímulos. Los resultados de Staddon y Reid (1998) indican que la versión multidimensional del modelo puede simular de manera adecuada patrones de orientación espacial como los descritos por Tolman para el caso del *mapa cognitivo*.

4.3. Evidencia en favor del modelo

En comparaciones con datos previamente recopilados, con los laberintos de Tolman y más recientemente con laberintos radiales, este modelo ha podido simular el patrón de desplazamiento espacial(Staddon, 2001). No obstante, en las simulaciones previamente hechas, se han usado procedimientos de reforzamiento de metas parciales, para guiar el desplazamiento, esto es, en general, considerado como una forma de mapa. El mapa que se requiere en este modelo, es el mapa de los reforzadores, y es más un requisito computacional para este tipo de modelos, que una propiedad teórica. Otros algoritmos con propósitos similares, requieren esta forma de 'mapas' (Schmajuk y Blair, 1993).

Una de los posibles refinamientos del modelo, consiste en lograr el patrón de desplazamiento virtual, usando la menor cantidad de *guias* o reforzadores de metas parciales. Este es una de las posibilidades que se estudia en la presente investigación.

Por otra parte, la mayoría de las simulaciones de Reid y Staddon, se basan en un esquema de movimiento de coordenadas finas, con una estructura de movimiento más orientada a los espacios abiertos. Esto es más complejo desde el punto de vista computacional, pero plantea menos restricciones para la conducta exploratoria. En un espacio cerrado, como el laberinto a usar en la presente investigación, el movimiento no es libre y está severamente restringido por la dirección inicial que se tome. De allí que las condiciones computacionales y las implicaciones para los datos reales en el presente trabajo sean muy diferentes a las exploradas por los autores del modelo.

4.4. Dependencia de las condiciones iniciales

El modelo RF es considerado como extremadamente sensible a las condiciones iniciales (Reid y Staddon, 1998; Staddon, 2001). Esto puede ser parte esencial de un modelo de desplazamiento espacial, sobre todo en espacio restringido, como

es el caso del laberinto. Un giro inicial en la dirección opuesta a la salida, implica una serie compleja de movimientos, estrictamente determinados por esta primera posción.

Por otra parte, el modelo RF es un modelo *determinista*, no conteniendo ningún término estocástico ni en su ecuación fundamental, ni en las implementaciones computacionales revisadas.

Cuando se combinan las dos características (determinismo y sensibilidad a las condiciones iniciales), puede hablarse de un sistema con propiedades *caóticas*, es decir, parece existir un componente de dinámica no lineal en el proceso de la actualización de la superficie de valores V (Gleick, 1987; Batterman, 1993).

Aunque es una característica que necesita ser explorada más a fondo, el carácter caótico de los resultados de las simulaciones del modelo RF, deja entrever la complejidad resultante en el desplazamiento espacial. Esta forma de complejidad habla en favor de la reproducción de un comportamiento observacionalmente complejo, pero que puede ser reproducido a partir de una combinación de múltiples instancias de un proceso simple : la generalización de estímulos. Esta característica caótica del patrón de resultados, ha sido observada en otros procesos conductuales (Marr, 1992; Palya, 1992), siendo una aproximación desarrollada para el modelamiento de fenómenos complejos en otras áreas de la investigación de la conducta (Gregson, 1995)

Si bien se trata de una observación informal, tanto en las simulaciones de Reid y Staddon, como en las del presente trabajo, este patrón de resultados forma parte de los argumentos en favor del modelo RF.

4.5. Aplicacion a la conducta humana

Si bien los autores originales del modelo presentan una gran cantidad de evidencia referente al ajuste del modelo en casos de conducta de distintas especies, el modelamiento de desplazamiento en humanos, no está dentro de las condiciones exploradas (Staddon, 2001).

El presente trabajo no hace una estudio directo del desplazamiento en humanos, sino que se hace a través de desplazamiento en un ambiente de realidad virtual. Si bien se trata de un desplazamiento guiado visualmente, al igual que en el caso del desplazamiento real, en el caso del ambiente virtual, el desplazamiento está desligado de la locomoción, teniendo elementos motrices muy distintos a los del desplazamiento real. Sin embargo, la relación de control entre la estimulación visual y las respuestas motrices, es una relación análoga a la del desplazamiento real, en términos de la dinámica temporal y las contingencias entre respuestas y

ubicación espacial. De esta forma, se considera que el desplazamiento en ambientes virtuales es un buen escenario para estudiar el tópico del mapa cognitivo. En este sentido, la aplicación del modelo involucra una variante de especie, además de una variante sustancial en el procedimiento experimental.

Usando un enfoque mentalista, la *cognición espacial* ha sido estudiada a través ambientes virtuales, de forma tal de lograr un mejor control experimental y una precisión mayor en el registro del desplazamiento. En todo caso, los ambientes virtuales con controles manuales, son considerados como una herramienta apropiada para estudiar los aspectos espaciales de la conducta en humanos (Wexler y cols., 1998; Klatzky y cols., 1999; Waller y cols., 2000; Schlender y cols., 2000), encontrándose similaridad en resultados obtenidos en ambientes virtuales que emulan ambientes naturales (Oman y cols., 2000). En particular, la implementación del ambiente virtual con movimiento controlado por teclado, forma parte de una estrategia metodológica comúnmente usada para el estudio del movimiento en humanos (Wexler y Klam, 2001).

El uso del modelo RF con humanos, en un ambiente virtual, plantea varias interrogantes. Una, obviamente, el ajuste del modelo a los datos; pero además de ésta, una interrogante general sobre cómo conciliar los procedimientos coputacionales y el uso de realidad virtual con una especie para la cual, la explicación parece ser obligatoriamente mentalista. Es un caso similar al de la percepción visual o la psicofísica, áreas en las cuales parece ser imprescindible la representación interna en el caso de los experimentos con humanos(Uttal, 2002).

Lo más importante, es poder reproductir esta conducta compleja en humanos, usando el principio simple de la generalización de estímulos. Aparte de toda la evidencia en favor del modelo RF con otras especies, un hallazgo interesante, es la ausencia de diferencias entre el efecto de las instrucciones verbales y el uso de mapas para el recorrido de un ambiente virtual (Schlender y cols., 2000). Esto parece indicar, que las instrucciones verbales o el uso de mapas cartográficos, introducen variaciones *paramétricas* en el desplazamiento espacial. Siendo el uso de mapas cartográficos y las instrucciones verbales dos elementos que podrían usarse para argumentar que existen diferencias cualitativas entre el desplazamiento en laberintos en humanos y no humanos, este es un resultado de gran importancia para la prueba del modelo RF en humanos.

De esta forma, la prueba del modelo RF, usando un ambiente virtual con humanos, tiene antecedentes metodológicos importantes, además que hace sentido dentro del contexto de algunos resultados encontrados en las investigaciones cognitivas.

5. Prueba del modelo local

5.1. Descripción del Experimento

5.1.1. Sujetos

Los participantes en el experimento son 4 estudiantes de la Univesidad Católica Andrés Bello, estudiantes de pregrado, dentro de los dos últimos años de carrera. Los cuatro sujetos cursan pregrados distintos. Las edades de los sujetos oscilan entre los 20 y 24 años, teniendo todos experiencia de al menos dos años en el uso de computadores personales. Los sujetos participaron voluntariamente, sin recibir remuneración o acreditación académica.

5.1.2. Diseño del laberinto

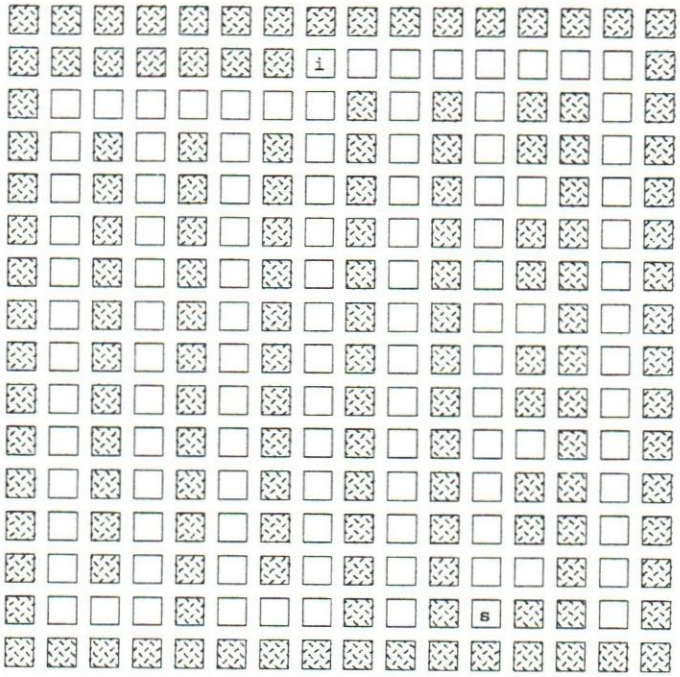

Figura 5: Diseño del Laberinto para el Experimento

La figura muestra el diseño del laberinto a usar en el experimento con humanos. Los cuadros en blanco representan espacios abiertos, mientras que los

sombreados representan bloques sólidos que conforman las *paredes* ó *barreras* del laberinto.

En este diseño, **i** representa el inicio del laberinto o posición inicial del organismo, mientras que **s** representa la posición final o de salida del laberinto.

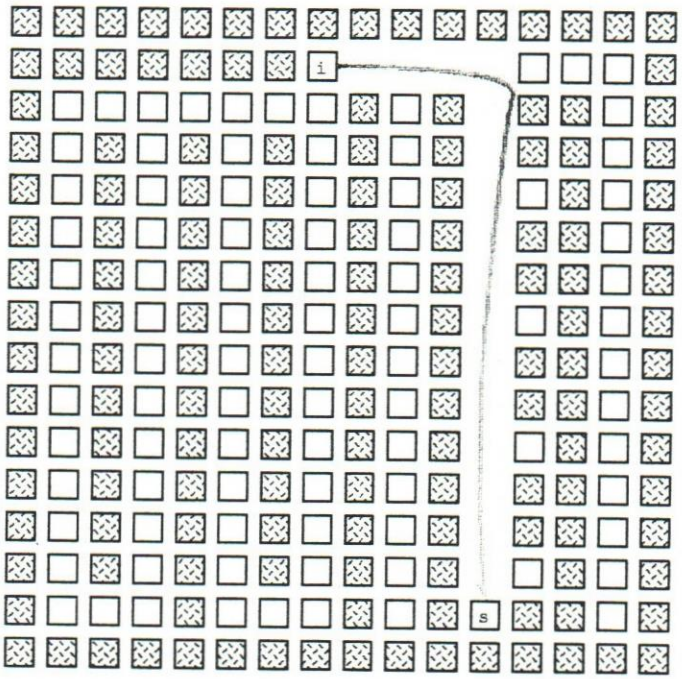

Figura 6: Ruta óptima para salir del Laberinto

La ruta de salida del laberito está señalada por la flecha. A lo largo de la ruta pueden identificarse varias bifurcaciones, la inicial en forma de **Y** y las siguientes como un conjunto encadenado de **T**s. La *entrada* al laberinto ubica al sujeto en las coordenadas $[7, 2]$, mientras que la *salida* se encuetra en las coordenadas $[11, 13]$.

5.1.3. Programación del laberinto virtual

Para la generación del ambiente virtual se usa un programa diseñado específicamente para este experimento [2], programado en el lenguaje Java, usando la biblioteca de funciones de programación gráfica *Java2D* (Knudsen, 1999). El código del programa usa algunos segmentos de un código previamente diseñado en lenguaje *C* (Lampton, 1994), no obstante, la traducción del código y su adaptación a las necesidades del experimento hacen que más del 90 % de las líneas de código sean totalmente nuevas y originales del autor del presente trabajo.

El programa de generación del laberinto virtual, será referido, para fines prácticos como *tolmanVR*. Este programa usa una proyección del movimiento, en coordenadas discretas, de modo que cada acción del teclado se traduzca en un desplazamiento equivalente a una posición en la dirección de la coordenada correspondiente. El movimiento es controlado por el sujeto a través de las teclas direccionales del teclado estándar del computador personal.

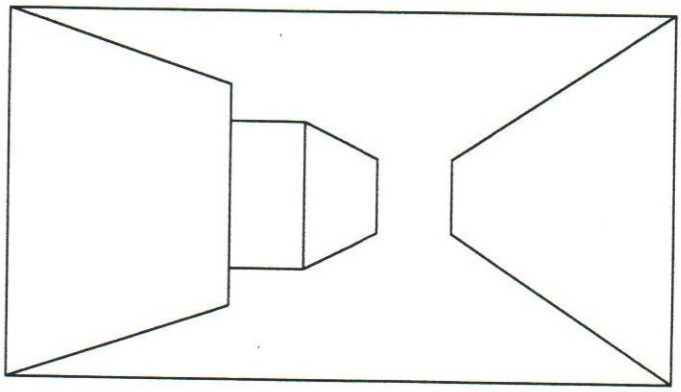

Figura 7: Ejemplo de la visión del laberinto en primera persona

Los espacios libres para el desplazamiento, tal como se muestran en la representación gráfica del laberinto, permiten que el sujeto cambie su ubicación dentro del espacio. Este cambio de ubicación genera una inmediata actualización de la imagen en pantalla, creando la ilusión de movimiento.

[2] La programación de un sistema de realidad virtual específico, responde a la necesidad de adaptarlo con precisión al modelo de desplazamiento que se quiere poner a prueba. Esto descarta el uso de un sistema genérico que no pueda ser adaptado. Para algunos detalles gráficos acerca del programa de laberinto, véase el apéndice B

Para evitar la introducción de claves cromáticas, todas las paredes del laberinto tienen el mismo color, mientras que el color del piso y el techo son constantes a lo largo de todo el recorrido.

Adicionalmente, el programa registra cada movimiento controlado por el teclado en un archivo secuencial, que permite el posterior análisis del patrón de desplazamiento.

5.1.4. Procedimiento experimental

Cada sujeto fue ubicado frente a un computador presonal, con una pantalla plana tipo LCD de 14 pulgadas, a una distancia en la cual reportara una visión clara de la pantalla. Se le instruyó en el uso del teclado y la tarea, que consistía en encontrar la salida al laberinto en varias ocasiones consecutivas, comenzando siempre desde la misma posición. El programa indica cuándo se encuentra la salida y notifica sobre la nueva entrada al laberinto. El número de entradas al laberinto es 4 para todos los sujetos, pero este número específico no fue indicado a los sujetos en las instrucciones, para mantener el número de entradas en incertidumbre.

Sólo en la primera entrada al laberinto, el color de las paredes cambió de blanco a azul, cuando la posición alcanzada estaba a menos de 4 posiciones de la salida.

Luego del cuarto ensayo el sujeto fue informado del final de la tarea.

Para cada sujeto, el patrón de movimientos fue registrado de la forma antes descrita.

5.1.5. Consideraciones éticas

La participación en el experimento por parte de los sujetos fue voluntaria y el consentimiento fue obtenido aclarando la ausencia de beneficios en retribución de la participación. Se informó claramente a todos los participantes de las características de la tarea y a todos se les indicó que podrían abandonar la tarea si les producía alguna incomodidad.

La recolección de datos es totalmente anónima, requiriendo sólo la edad y la carrera para fines descriptivos, datos que se mencionan en forma aproximada.

5.1.6. Modelo de desplazamiento bidimensional

Los cómputos del modelo RF se realizan según la ecuación bidimensional de difusión, usando para cada posición espacial, un elemento que tiene un valor V_i. Los valores son computados para cada uno de los elementos del espacio de movimiento, que corresponden a las posiciones de las coordenadas del laberinto, que para efectos del modelo, se representan en un grafo, de forma general:

$$G = [E, C] \tag{5}$$

Siendo E los elementos de cómputo, que corresponden a las posiciones espaciales, y C las conexiones entre dichos elementos.

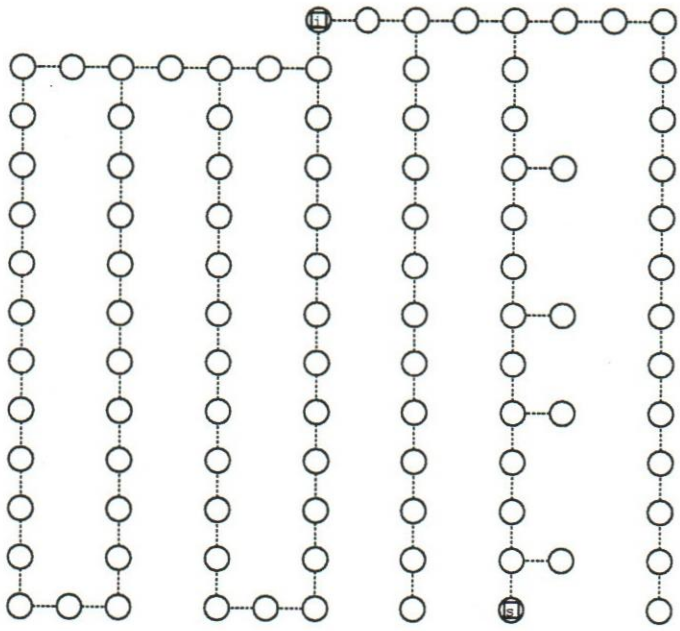

Figura 8: Grafo conectado que representa el modelo del laberinto

Es importante señalar, que en este caso, se usa un grafo conectado [3], en el cual existe una continuidad entre las distintas unidades o elementos, a diferencia de

[3]Una de las sutiles diferencias entre el modelo RF y un modelo de Redes Neuronales Artificiales, es que las conexiones, en el caso del modelo RF son indicadores de vecindad, usadas para la ecuación de difusión; mientras que en los modelos de RNA, las conexiones llevan ponderaciones, que representan los valores a optimizar. En un sentido más general, las conexiones aquí son todas iguales a 1 y sus valores no están sujetos a actualización

simulaciones anteriores, en las cuales se han usado otras arquitecturas (Staddon, 2001).

Tal como se muestra en el grafo, la arquitectura de conexión de los elementos, corresponde a lo que se denomina arquitectura de conexión parcial, en la cual no todos los elementos tienen el mismo número de vecinos, es decir, elementos conexos. Para todos los casos, el núemro máximo de vecinos es 3, y el número mínimo es 1. En este sentido, se trata de una arquitectura simplificada, con respecto a una arquitectura de espacio abierto, en la cual las vecindades pueden ser mayores. Para la actualización de los valores V de cada uno de los elementos representados en el grafo (los cuales forman una superficie), se usa un algoritmo que permite que cada elemento sea actualizado sólo una vez en cada iteración (Papadimitriou y Steiglitz, 1982; Gibbons, 1985).

En este caso, la posibilidad de controlar el movimiento y registrarlo con precisión en el laberinto virtual, hace que se pueda diseñar la arquitectura de conexión en correspondencia puntual con las posiciones espaciales en el laberinto. Este no es el caso de situaciones de observación en ambientes naturales, donde las coordenadas espaciales no siempre corresponden a las posiciones de movimiento, por razones de biomecánica o variabilidad en la locomoción, por lo que hay que usar medidas discretas de movimiento o una escala discreta gruesa para el espacio de desplazamiento (Duncan y Gaffney, 2002; Milhaud y cols., 2002).

Por otra parte, el modelo RF es adaptado a la situación de cuatro entradas al laberinto, para establecer una restricción computacional, que guarde proporcionalidad con las condiciones experimentales de los organismos reales. Tal como sucede con éstos, se realizan cuatro entradas al laberinto, es decir, cada vez que se llega a la posición de salida, se restablece la posición actual como la posición inicial, es decir, una nueva entrada al laberinto.

En el caso del modelo, esto involucra dos grandes fases, la actualización de los valores V_i para las i posiciones espaciales, y la regla de movimiento, la cual establece que siendo la posición actual i, la nueva posición será j, siempre que $V_j > V_i$, comparación que ocurre sólo si existe conexión o vencindad entre j e i. Dado que $i, j \in E$, si existe una conexión $c \in C$, que une a i con j, entonces se comparan. El movimiento se realiza hacia la posición con el mayor valor de V, lo cual constituye una regla tipo WTA (*Winner Takes All*).

Al igual que en Reid y Staddon (1998), el número de iteraciones de actualización de la superficie se realiza antes de cada decisión de movimiento, en un número creciente según la edad del proceso. Es decir, para la primera entrada al laberinto, el número de iteraciones es el menor, mientras que para la cuarta entrada es el mayor. Dentro de cada entrada, el número de iteraciones permanece

constante[4].

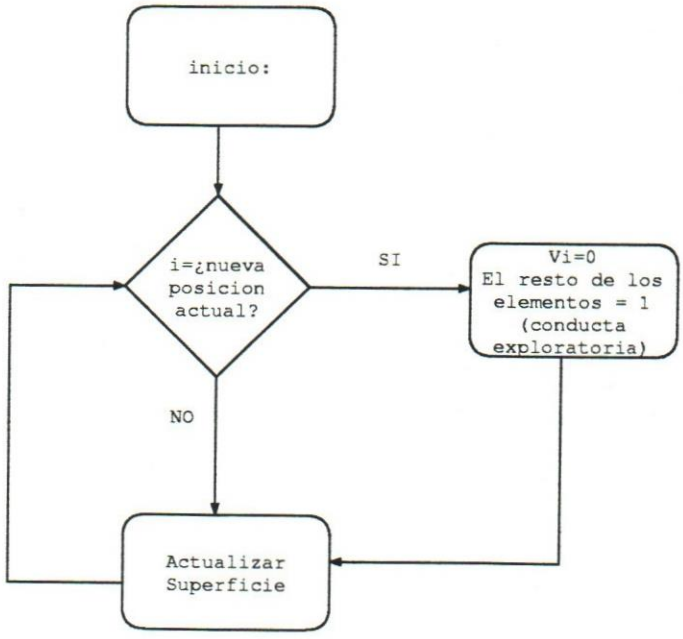

Figura 9: Diagrama de Flujo de la Actualización de Valores V

Existe una diferencia importante, entre la primera entrada al laberinto y las tres restantes, que consiste en el modelamiento de la conducta exploratoria. En la primera entrada al laberinto, cada vez que se alcanza una nueva posición i, el valor $V_i = 0$ y el resto de los valores es fijado a 1, tal como se muestra en el flujograma. Este paso se realiza para representar la conducta exploratoria, donde la probabilidad de movimiento es máxima. Este paso sólo se realiza en la primera entrada al laberinto. En las siguientes tres entradas, $V_i = 0$, pero el resto de los elementos es actualizado usando la ecuación 4.

Al final de cada entrada al laberinto, cuando se llega a la posición de salida, $V_i = 1$, representando el efecto del reforzamiento. Luego la superficie de todos los valores restantes es actualizada, usando la ecuación 4, y se procede con la

[4]Las iteraciones, aquí mencionadas en forma simple, requieren un complejo proceso computacional que hace que la implementación de este modelo tenga un considerable nivel de dificultad en la programación y depuración de los cómputos, véase el apéndice A para algunos detalles

siguiente entrada al laberinto, regresando a la posición inicial. En las entradas 2,3 y 4, la superficie de inicio corresponde a la superficie final de la entrada anterior.

De la misma forma, en la primera entrada al laberinto hay un reforzador parcial, cuando la posición alcanzada es cercana a la posición de salida, en correspondencia con lo que sucede con el programa *tolmanVR* durante la primera entrada (véase la sección 5.1.4)

5.1.7. Análisis del ajuste del modelo

Los patrones de movimiento espacial, son normalmente analizados usando sistemas de coordenadas cartesianas, o coordenadas polares, definidas sobre un plano bidimensional (Shettleworth, 1985; Staddon, 2001). Otro tipo de análisis usa medidas discretas como frecuencia de una posición espacial de especial interés ó medidas de tiempo de permanencia dentro de una región (Duncan y Gaffney, 2002; Milhaud y cols., 2002).

En el caso de la presente investigación, las coordenadas posicionales son registradas con precisión a través del programa *tolmanVR*, con lo que para cada sujeto, se tiene la serie temporal de posiciones en las coordenadas del espacio virtual en cada uno de los recorridos. El modelo RF, de la misma forma, genera una serie de coordenadas para cada recorrido. No obstante, tal como apuntan Reid y Staddon (1998), las predicciones que pueden hacerse a partir del modelo RF, son más bien de tipo *topográfico*, en el sentido de reproducir los patrones de desplazamiento, en cuanto a su forma general, más que una predicción punto a punto. Esta es una aproximación aceptable para un modelo que hace predicciones sin ningún tipo de información adicional a la topografía del ambiente.

De esta forma, el ajuste del modelo se evaluará en función del paso de un comportamiento exploratorio a una conducta de desplazamiento con ruta óptima, desde el primero hasta el cuarto recorrido. Para esta evaluación se usarán gráficos de coordenadas cartesianas que representen los patrones de movimiento.

5.2. Resultados

5.2.1. Desplazamiento de los sujetos

Del registro producido por *tolmanVR*, se obtienen los vectores de coordenadas que permiten reconstruir el desplazamiento de los sujetos en el ambiente de laberinto. Esto se presenta en los distintos diagramas de recorrido para cada sujeto en cada una de las entradas al laberinto.

Los diagramas de recorrido están construidos en el mismo sentido que los diagramas que describen los laberintos, de arriba hacia abajo. La coordenada y está en el mismo sentido que se usan las coordenadas de pantalla en muchos sistemas de programación gráfica, al igual que en la misma forma que la matriz definitoria del laberinto se representa en código del programa. Para todos los casos, cada entrada al laberinto ubica al sujeto en las coordenadas $[7, 1]$, mientras que el final del laberinto está en las coordenadas $[11, 13]$.

Aún cuando el desplazamiento dentro del laberinto se mide en unidades discretas, para mostrar mejor el patrón de desplazamiento, los diagramas de recorrido muestran los puntos del desplazamiento como una línea interpolada, con lo que estrictamente no corresponden a los valores exactos de las coordenadas discretas del desplazamiento, pero gracias a la continuidad de la línea, permiten visualizar la secuencia del desplazamiento y en cierta forma, su direccionalidad. En cada figura, los diagramas están ordenados según las distintas entradas al laberinto desde la entrada 1 (arriba, izquierda), hasta la entrada 4 (abajo,derecha).

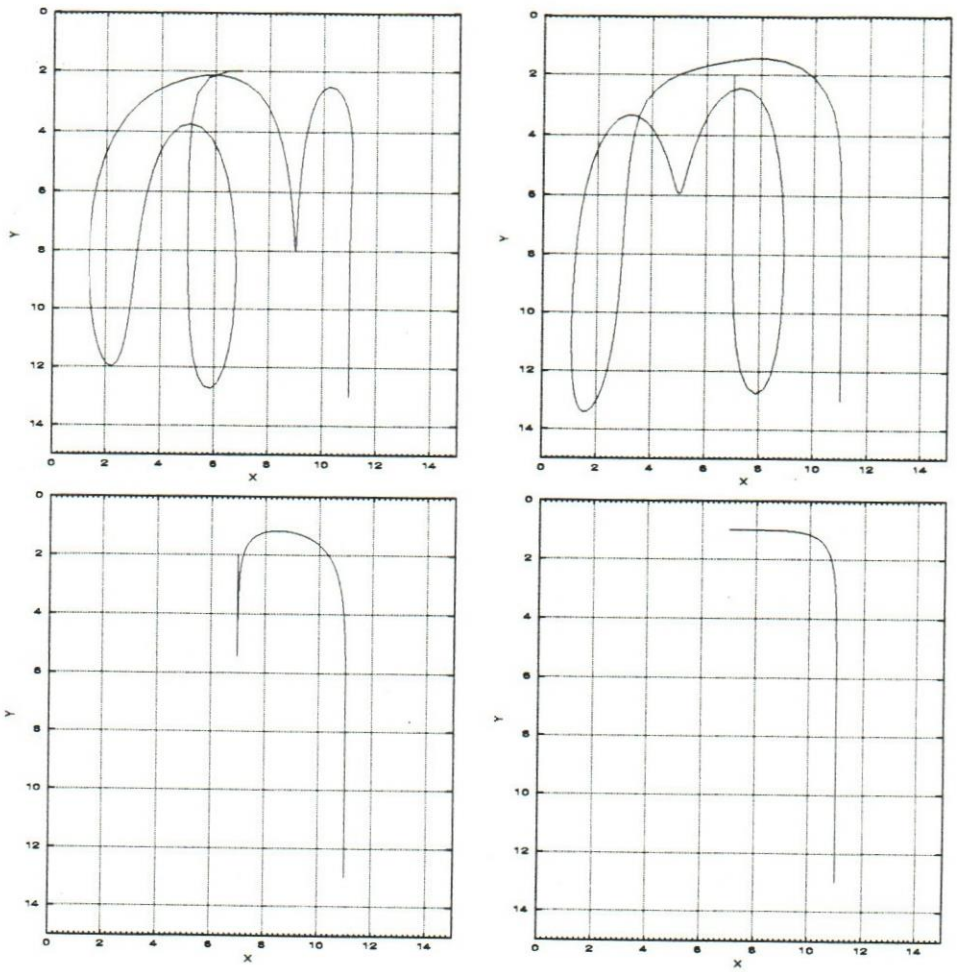

Figura 10: Recorridos del Sujeto 1

El sujeto 1, muestra un patrón que puede denominarse conducta exploratoria, en la primera entrada al laberinto. Este patrón se caracteriza por recorrer la mayor parte de las áreas del laberinto, antes de entrar al sector o pasillo que da acceso al punto de salida. En su segunda entrada al laberinto, el patrón muestra aún rasgos de conducta exploratoria, con recorrido de una buena parte de las áreas del laberinto,antes de llegar a la salida.

El recorrido 3, muestra una reducción de la conducta exploratoria, y una ruta muy parecida a la ruta directa, con un ligero recorrido en falso inicialmente. El recorrido 4 muestra una ruta óptima hacia la salida del laberinto.

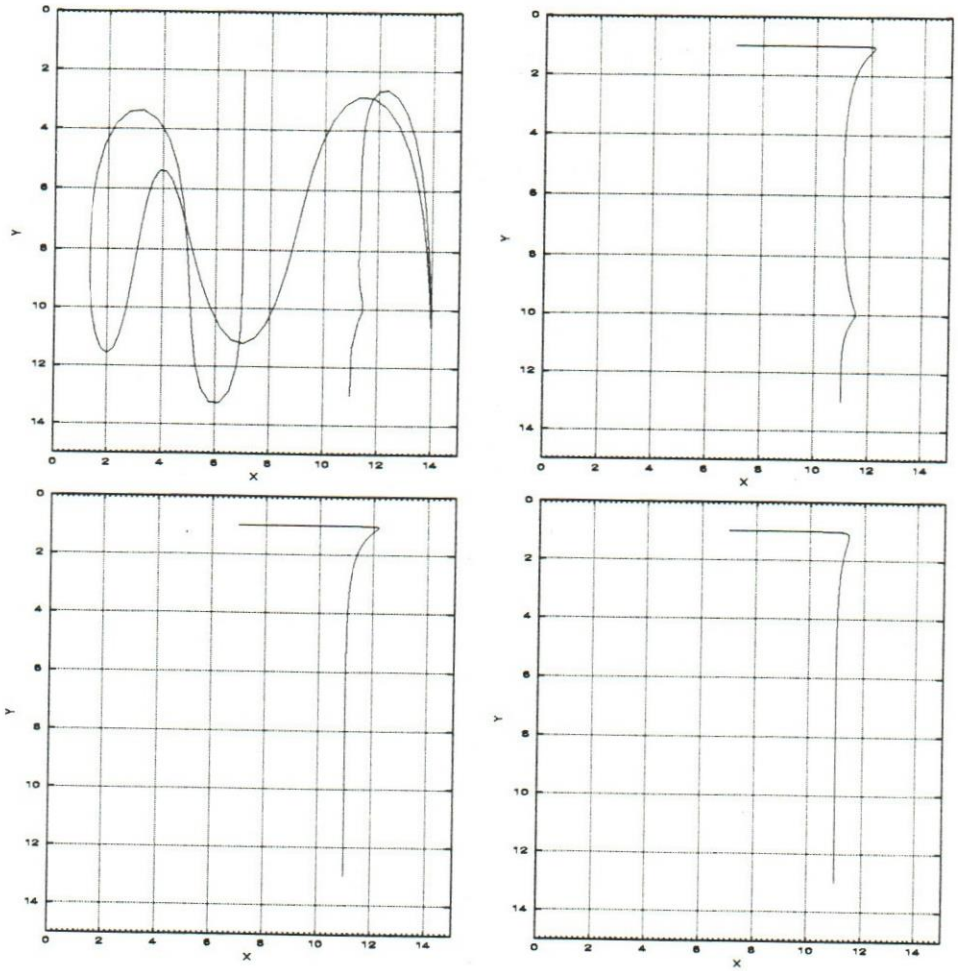

Figura 11: Recorridos del Sujeto 2

Para el sujeto 2, en la primera entrada al laberinto se observa un patrón de conducta exploratoria. En las siguientes entradas, el desplazamiento describe una ruta muy cercana a la óptima, hasta que en la cuarta entrada, el desplazamiento es directo hacia la salida.

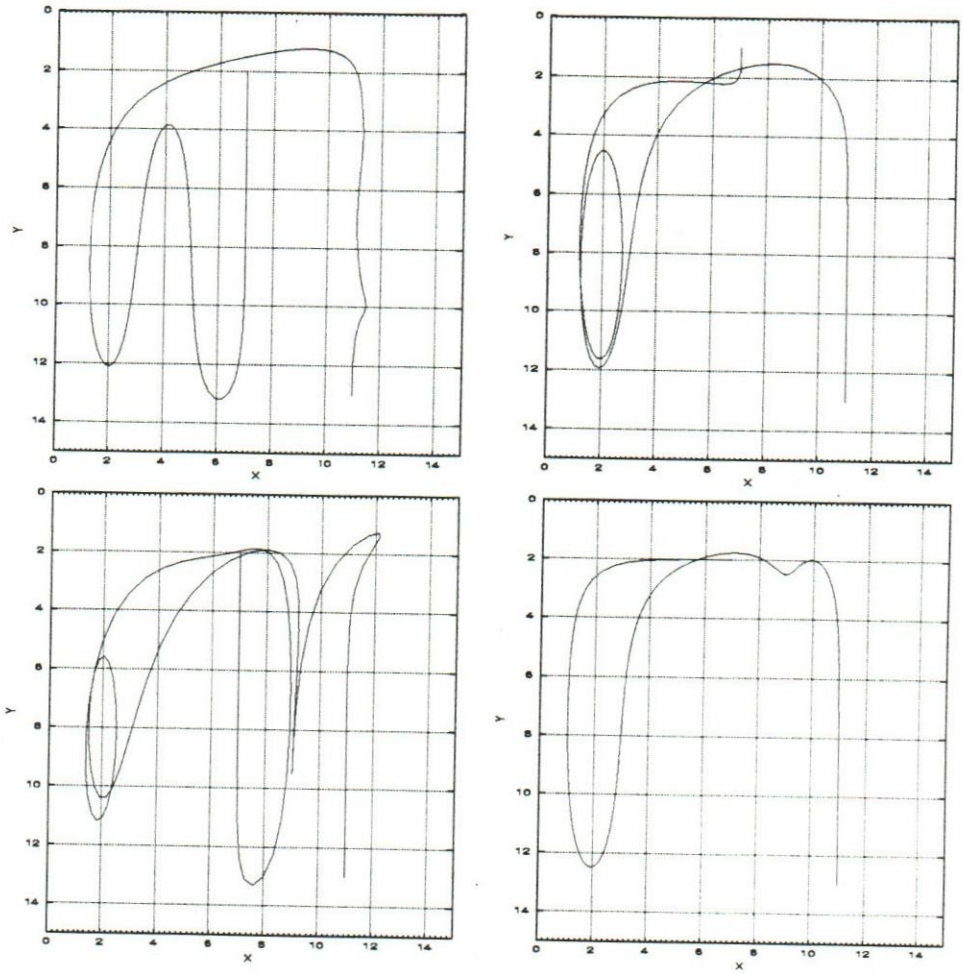

Figura 12: Recorridos del Sujeto 3

Para el sujeto 3, la diferencia entre las dos primeras entradas al laberinto, radica en que en la segunda entrada, es menor el área del espacio explorada, sin embargo, el número de movimientos es mayor en el segundo recorrido.

En el tercer recorrido se observa un aumento del desplazamiento con respecto a las dos entradas anteriores, logrando alcanzar la salida en un número mayor de pasos. El recorrido 4 muestra una reducción clara de número de movimientos, acercándose a la ruta directa, sin ser exactamente igual a esta, pero diferenciándose claramente de los patrones de desplazamiento en las entradas anteriores al laberinto.

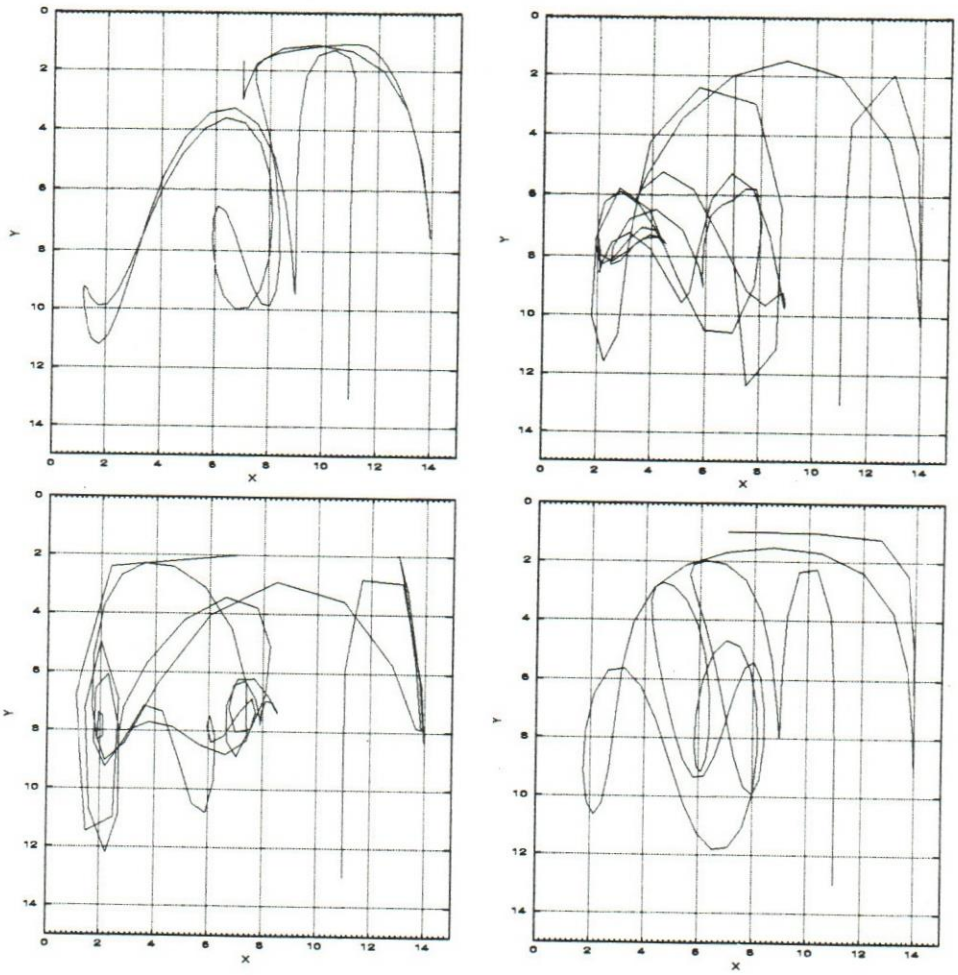

Figura 13: Recorridos del Sujeto 4

En el caso del sujeto 4, los patrones de las primeras tres entradas al laberinto muestran como se cubre un gran segmento del espacio del laberinto, con énfasis en las coordenadas $x \leq 7$, al lado izquierdo en los diagramas mostrados.

Para el sujeto 4, el recorrido 4 muestra un patrón de alta variabilidad en el desplazamiento, en el cual aún se requiere un gran número de pasos para llegar al punto de salida.

Descripción general Con la excepción del sujeto 4,el patrón de desplazamiento de los sujetos tiene gran comunalidad en lo que se refiere a la entrada inicial y la entrada final al laberinto, existen divergencias en cuanto a las entradas intermedias (2 y 3). Los sujetos 1 y 2 muestran un patrón de optimización progresiva de movimientos, mientras que el sujeto 3 muestra una optimización inicial, con un deterioro del desempeño en la tercera entrada al laberinto.

El sujeto 4, muestra un desplazamiento que puede caracterizarse como exploratorio en las cuatro entradas al laberinto, evidenciando una desaceleración del proceso de optimización mostrado por el resto de los sujetos. Esto puede considerarse como una variación paramétrica en el proceso de aprendizaje involucrado. Parece mostrar que el sujeto 4 requiere un número de entradas mayor que 4 para optimizar el patrón de desplazamiento.

5.2.2. Desplazamiento Esperado a Partir del Modelo RF

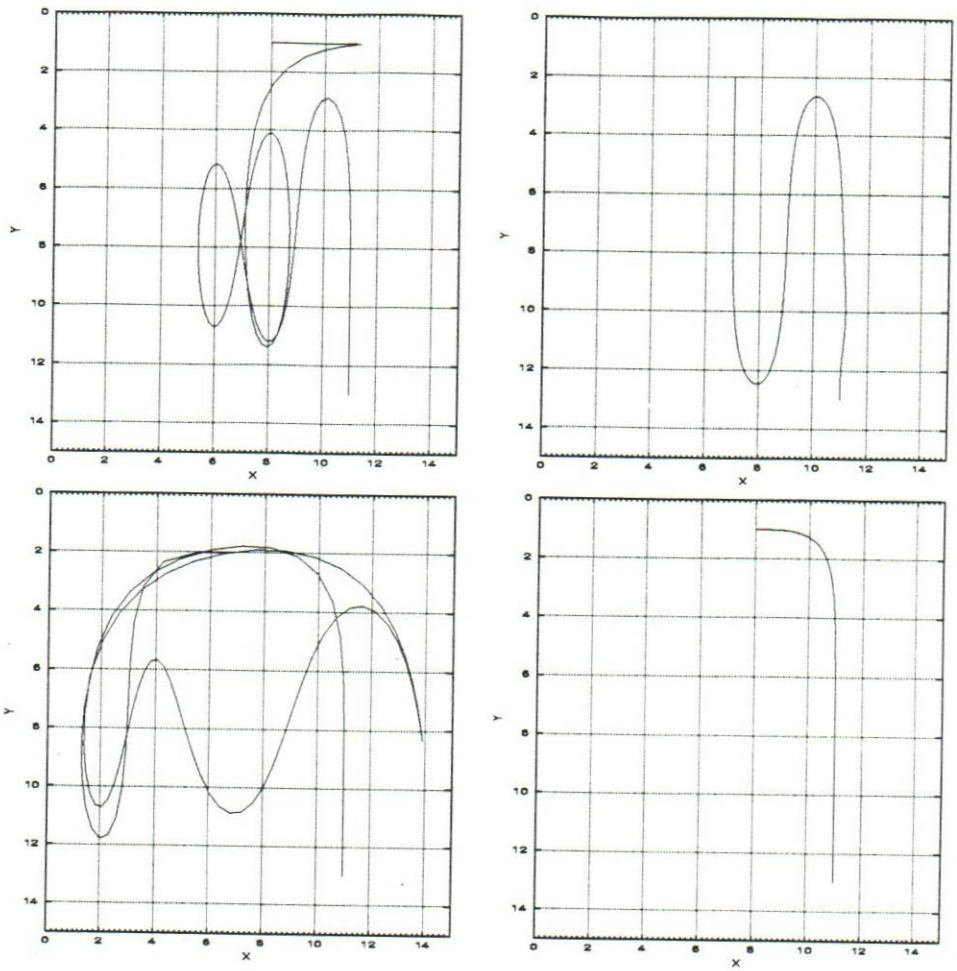

Figura 14: Recorridos del Generados por el Modelo RF

El modelo RF, como resultado de procedimiento de simulación, predice los cuatro patrones de movimiento, en entradas sucesivas al laberinto. En la primera entrada, se muestra un patrón de movimiento exploratorio, con un desplazamiento a un gran número de posiciones espaciales virtuales.

En el segundo intento, la simulación muestra una disminución de la variabilidad y el movimiento tiene un patrón menos parecido a lo que se considera conducta exploratoria, de lo que es en el caso de la primera entrada al laberinto.

En la tercera entrada virtual, el modelo simula un incremento en la variabilidad, mostrando una especie de regreso al patrón de conducta exploratoria observada en la primera entrada al laberinto virtual.

En la última simulación de entrada al laberinto, el modelo genera un patrón óptimo para el recorrido desde la posición de inicio hasta la posición final. Es importante insistir en que, tal como se describió en el procedimiento computacional, los valores de V al final de cada entrada, son usados al inicio de la entrada siguiente

El modelo RF predice un patrón similar al del sujeto 3, en sus respectivas entradas, mientras que es muy acertado en la predicción del patrón de los tres primeros sujetos, en cuanto al inicio y el final del proceso.

En cuanto al sujeto 4, sus cuatro patrones se acercan más a la predicción del modelo para la entrada 1, es decir, conducta exploratoria.

Superficies Finales La actualización de la superficie de valores V_i, permite ilustrar cómo el modelo genera los patrones de desplazamiento simulado.

En una primera instancia, al final del primer recorrido la superficie muestra valores altos en distintas áreas del espacio virtual, lo cual es modificado en la segunda entrada, en la cual, una de las áreas muestra valores bajos, evidenciando una superficie más diferenciada. En la tercera entrada, tal como se puede ver en los patrones de movimiento, la superficie regresa a ser menos diferenciada.

Al final del proceso de la cuarta y última entrada al laberinto simulado, la superficie muestra lo que puede denominarse el patrón óptimo de valores de V, con una forma diferenciada, mostrando un pico hacia el sector de salida del laberinto, que proyecta la imagen de un gradiente de generalización bidimensional.

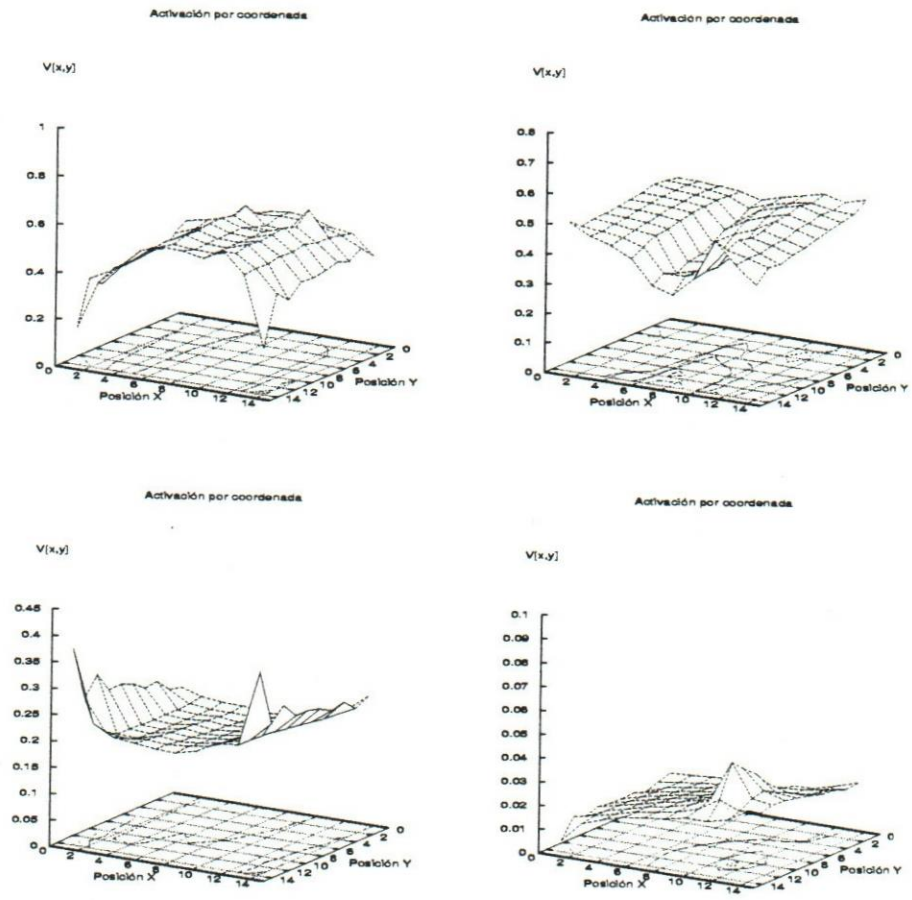

Figura 15: Superficies finales de V_i para las cuatro entradas al laberinto

6. Discusión

El modelo RF muestra un ajuste adecuado para las fases inicial y final del modelo. En este sentido, el modelamiento de la conducta exploratoria (primera entrada al laberinto) y el desplazamiento óptimo (cuarta entrada al laberinto), es predicho adecuadamente por el modelo RF, para el caso de los sujetos que logran un patrón óptimo en la cuarta entrada al laberinto.

Las variaciones en la entrada 2 y la entrada 3, si bien son de consideración, pueden entenderse como variaciones paramétricas, que dejan sentada la necesidad de una exploración más ámplia del espacio paramétrico del modelo RF. En todo caso, el patrón de deterioro del recorrido 3, esperado por el modelo, se observa en uno de los sujetos, estableciendo dicho patrón, al menos como un caso *posible* dentro de los patrones de desempeño de los distintos sujetos.

Las predicciones fundamentales del modelo: conducta exploratoria en la primera entrada y desplazamiento óptimo en la entrada final, son apoyadas por los datos de los sujetos que lograron dicho desplazamiento. La única excepción es la del sujeto 4, el cual muestra conducta exploratoria durante las cuatro entradas al laberinto, considerándose entonces, como un proceso *incompleto*, el cual no muestra la aceleración necesaria para lograr un patrón óptimo en cuatro entradas al laberinto.

La consistencia del modelo en la predicción del patrón óptimo en la cuarta entrada, es de especial importancia, dado que, en términos discretos, el nivel de aceleración del proceso es adecuadamente descrito.

Esto va muy en favor del modelo RF, dado que la prueba a la que ha sido sometido, es especialmente fuerte. Las condiciones que se impusieron para la prueba del modelo son mucho más restrictivas que algunas de las impuestas en simulaciones anteriores (Staddon, 2001). En este caso, el número de entradas fue estrictamente restringido al mismo efectuado por los organismos. Adicionalmente el número de iteraciones de actualización de la superficie de valores V, fue mantenido constante dentro de cada entrada al laberinto, e incrementado entre entradas usando una progresión aritmética, en lugar de valores *ad hoc*, además, sólo hay un reforzador en el espacio virtual, es decir, no existe un mapa de reforzadores, en este caso sólo se refuerza la llegada a la posición de salida. En este sentido, el resultado obtenido del modelo RF, es un producto numérico crudo, sin *ayudas* circunstanciales para mejorar el ajuste. De esta forma, se trata de una rigurosa prueba, en donde se contrastan los resultados de la simulación del modelo RF, sin retoques, o modificaciones convienientes para mejorar el ajuste. Esto realza el valor de las coincidencias encontradas con los datos observados.

Otro elemento que hace que pueda considerarse la prueba como rigurosa, es la realización del experimento con una instrumentación y una especie que tradicionalmente han favorecido las interpretaciones cognitivistas. En particular, los ambientes virtuales, combinados con humanos, pueden prestarse para hacer énfasis en las instrucciones verbales, lo cual, acompañado con el movimiento *virtual*, controlado por una motricidad distinta a la de la locomoción, favorece la preponderancia de los llamados *proceso superiores*. No obstante, el modelo RF mostró un ajuste adecuado a pesar de estas condiciones que parecen favorecer el ajuste de otro tipo de modelos

En cuanto a las variaciones entre los sujetos, esta abren, como se dijo antes, la posibilidad de una exploración del espacio paramétrico en forma amplia, para futuras investigaciones.

El ajuste del modelo RF, no sólo es un respuesta posible a la divergencia Tolman-Guthrie, sino que resulta en una reivindicación de la llamada caja negra, ó modelo E-R. Opacado por el *glamour* mentalista y el aparataje de las máquinas que permiten ver dentro del cerebro, el modelo E-R parece fuera de época, contrario al signo de los tiempos.

Pero el viejo y devaluado modelo E-R, es dejado de lado en favor de algo que no es más novedoso, sí mucho más difuso y cercano a la filosofía que a la ciencia: el mentalismo. Tal como se revisó, en sus formas contemporáneas, con las muletas de la robótica y las fisiología, el mentalismo vive, en su arcaica forma de conceptos como el mapa cognitivo.

De la misma forma, la debilidad de algunos conductistas por el reduccionismo fisiológico, le hace el juego al mentalismo (Uttal, 2001), formando un grupo de argumentos que se suman desde el conductismo hasta el cognoscitivismo, en contra del modelo E-R. Esto ha hecho, entre otras cosas, que algunos de los aportes de Tolman, Hull, Guthrie y Gibson, sean rechazados por el análisis experimental de la conducta (Staddon, 1993), como parte del sesgo en contra del modelo E-R.

El resultado experimental aquí discutido, reivindica el valor del modelo E-R en la explicación de la conducta compleja.En este sentido, en su interpretación de los resultados, en referencia a la divergencia Tolman-Guthrie, Reid y Staddon afirman:

> El buscador de ruta que nosotros proponemos no es más que la formulación dinámica de la generalización de estímulos, un proceso conductual básico. Entonces, la pretensión de Tolman de que se requiere algo más que principios E-R para explicar la conducta

> de laberinto es sólo parcialmente cierta. Un mapa *es* requerido (en nuestro esquema) pero más allá de esto, ningún "insight", ni ningún ojo cíclope interno con una visión panorámica de la situación total son necesarios. (Staddon, 2001, pp. 307-308)

Este *route finder*, insiste en la perspectiva local, en la cual el *asunto* de la teoría es el movimiento momento a momento, a diferencia de la interpretación basada sobre mapas cognitivos, donde se mantiene lo señalado por Guthrie, el *asunto* de la teoría son las complejas operaciones mentales que realiza el organismo. El desplazamiento sigue siendo asunto de la organismo, no de las teorías mentalistas.

De esta forma, el modelo RF no sólo reivindica la perspectiva E-R, sino que brinda evidencia en favor de la tesis general del proceso *local*. Tal como muestra la literatura sobre dinámica no lineal, caos y complejidad, muchos fenómenos complejos, lo son a nivel observacional, lo cual no implica necesariamente que se trate de una complejidad de proceso global. En este caso, el desplazamiento espacial es modelado como un proceso de múltiples gradientes de generalización de los estímulos visuales, conectados y relacionados, que dan como resultado un patrón que resulta en lo que denomina, como producto observacional, conducta compleja.

Pero a diferencia de la explicación cognitiva, no existe un gran proceso rector que gobierna la complejidad como un todo, sino que se trata de un proceso *local*, que modela el desplazamiento espacial, momento a momento, que en este caso es un proceso elemental denominado generalización de estímulos. Este contraste, es un versión contemporánea del contraste entre las visiones de Tolman y Guthrie. Mientras Tolman se refería al laberinto, *observando desde arriba*, Guthrie se refería al laberinto, *desde la posición local del organismo*, es decir, en primera persona. Aunque el experimento realizado, no involucra locomoción, sí involucra desplazamiento virtual, visualmente guiado, en el mismo sentido de la locomoción visualmente guiada, es decir, controlada por estímulos visuales (Gibson, 1958), manteniéndose entonces la interpretación de los resultados del modelo RF, como una interpretación no representacional de un proceso visualmente guiado, con énfasis en la *acción* más que en el *procesamiento*, al fin, con énfasis en la distinción entre *animalia* y *plantae*. (Warren, 1998).

En otros términos, los resultados en favor del modelo RF, apoyan la proyección $\epsilon \mapsto \rho$, más que la $\epsilon \mapsto \kappa$.

El carácter histórico de la controversia Tolman-Guthrie, puede hacer que su revisión se haga en términos puramente especulativos, o en el mejor de los casos, que se intente describir el problema como un asunto lógico. Tal como se discutió

en la parte inicial del trabajo, el problema del mapa cognitivo en el desplazamiento espacial en laberintos, es difícil de reducir al formalismo lógico, o a un planteamiento argumentativo, puramente conceptual. Al obviar la consideración de afirmaciones relativas a los datos (D en términos de Toulmin), se desnaturaliza el problema, sacándolo de contexto, llegando considerarlo trivial.

Pero la consideración de estos datos es un asunto complejo, con una serie de detalles históricos que hacen difícil y ramificada la discusión. Desde el punto de vista de Tolman, los adelantos de la robótica cognitiva y la neurociencia cognitiva, es decir, el mentalismo tecnificado de nuestros tiempos, la interpretación parece estar actualizada. La respuesta de Guthrie pareciera estar fuera de tiempo.

No obstante, no toda la robótica es cognitiva y los sofisticados aparatos de la neurociencia no garantizan consistecia en los resultados. Los argumentos de Guthrie también reciben apoyo de desarrollos contemporáneos, desde el punto de vista computacional, teorético y experimental, con lo que pudiera llamarse un nuevo conductismo (Staddon, 1993)

En este sentido las tesis del proceso local y el modelo E-R, pueden verse como formas explicativas no suficientemente exploradas. Mientras que las tesis mentalistas son evaluadas usando los desarrollos contemporáneos, las tesis no representacionales como la del proceso local y el modelo E-R, son evaluadas en sus versiones de referencia histórica, con 50 o 60 años de distancia. Estos resultados, se unen a la inteligencia artificial no representacional, la robótica conductual, los modelos de proceso local, la dinámica no lineal de la conducta y los modelos cuantitativos de proceso básicos; en un argumento *contemporáneo* en favor del modelo E-R. No estaban disponibles para Guthrie, las técnicas cuantitativas ni la potencia computacional con la que se cuenta hoy, por lo que sus argumentos deben ser adaptados a la nueva instrumentación para poder ser apreciados en su justo valor.

Vale la pena ilustrar en el presente caso, referente a las ESG, el problema del *insight*, como una de estos productos observacionales, que resultan de la falta de exploración de las variaciones parmétricas de un modelo. Este es el caso del paso del recorrido esperado, desde la entrada 3 a la entrada 4, en la simulación del modelo RF. En 1948, podía decirse que se trata de un *insight*, hoy puede decirse que se trata de una actualización del gradiente de generalización multidimensional.

El modelo RF requiere gran potencia computacional,e incorpora técnicas contemporáneas de optimización combinatoria, introduce elementos tecnológicos que no estaban del todo disponibles para el momento de los planteamientos de Tolman y Guthrie. De allí que sea una salida que ninguno de los autores originales

estaba en capacidad de plantear.

Adicionalmente, el modelo RF, es totalmente determinístico, sin la inclusión de términos estocásticos. Esto, combinado con el carácter complejo del patrón resultante, parece tender un puente entre el conductismo contemporáneo y la dinámica no lineal como explicación de la complejidad de la conducta (Marr, 1992; Palya, 1992; Gregson, 1995).

7. Conclusiones

1. Resulta inconveniente o incompleto el tratamiento de la divergencia Tolman-Guthrie, como un asunto puramente lógico o conceptual

2. El problema del mapa cognitivo puede ser tratado usando el modelo RF de Reid y Staddon (1998)

3. Los resultados indican que es posible modelar el desplazamiento espacial usando un proceso local basado en la generalización de estímulos. El proceso básico de generalización de estímulos, parece ser suficiente para una explicación de la complejidad del desplazamiento espacial en laberintos virtuales.

4. La complejidad del desplazamiento, aún en el ambiente virtual usado en el experimento, puede ser reproducida usando sólo la dinámica del reforzamiento, sin la introducción de términos fisiológicos o estados internos.

5. El modelo determinístico, sugiere la existencia de un proceso dinámico, con resultados posiblemente caóticos, en la conformación del patrón de desplazamiento espacial.

Referencias

Abl, K. (1996). The debate over olfactory navigation by homing pigeons. *Journal of Experimental Biology*, 199:121–124.

Batterman, R. W. (1993). Defining chaos. *Philosophy of Science*, 60(1):43–66.

Blough, D. S. (1975). Steady state data and quantitative model of operant generalization and discrimination. *Journal of the Experimental Psychology: Animal Behavior Processes*, 104:3–21.

Bush, R. R. y Mosteller, F. (1951). A model for stimulus generalization and discrimination. *Psychological Review*, 58:413–123.

Chen, J.-L., Liu, J.-S., y Lee, W.-C. (2002). A recursive algorithm for on-line clustering obstacles cluttered in dynamic environments. *Journal of Intelligent and Robotic Systems*, 33:209–230.

Cheng, K. (2002). Generalisation: mechanistic and functional explanations. *Animal Cognition*, 5:33–40.

Chown, E. (1999). Making predictions in an uncertain world: environmental structure and cognitive maps. *Adaptive Behavior*, 7:17–34.

Clark, A. y Grush, R. (1999). Towards a cognitive robotics. *Adaptive Behavior*, 7:5–16.

Dascal, M. (1995). Epistemología, controversias, y pragmática. *Isegoría*, 12:8–43.

Duncan, P. M. y Gaffney, M. A. (2002). The effects of hypoglycemia and ethanol on rat performance in the radial-arm maze. *Physiology & Behavior*, 75:243–250.

Etienne, A. S., Maurer, R., y Seguinot, V. (1996). Path integration in mammals and its interaction with visual landmarks. *Journal of Experimental Biology*, 199:201–209.

Gallistel, C. R. y Cramer, A. (1996). Computations on metric maps in mammals: getting oriented and choosing a multi-destination route. *Journal of Experimental Biology*, 199:211–217.

Garcia, J. (1997). Tolman: creative surges and dubious second thougths. *Contemporary Psychology*, 42:285–291.

Gibbons, A. (1985). *Algorithmic Graph Theory*. Cambridge University Press, Cambridge.

Gibson, J. J. (1958). Visually controlled locomotion and visual orientation in animals. *British Journal of Psychology*, 49:182–194.

Gleick, J. (1987). *Chaos - Making a new science*. Penguin, New York.

Glymour, C. (1994). On the methods of cognitive neuropsychology. *British Journal for the Philosophy of Science*, 45:815–835.

Gregson, R. A. M. (1995). *Cascades and fields in perceptual psychophysics*. Word Scientific, Singapore.

Guthrie, E. R. (1952/1935). *The psychology of learning*. Harper Brothers, Massachusetts.

Harpaz, Y. (1998). Replicability of cognitive imaging of the cerebral cortex by pet and fmri: A survey of recent literature.. URL: http://human-brain.org/replicability.html.

Hickok, G., Wilson, M., Klima, E. S., Kritchevsky, M., y Bellugi, U. (1999). Discourse deficits following right hemisphere damage in deaf signers. *Brain and Language*, 66:233–248.

Hoffman, C. M., Timberlake, W., Leffel, J., y Gont, R. (1999). How is radial arm maze behavior in rats related to locomotor search tactics? *Animal Learning & Behavior*, 27(4):426–444.

Hull, C. L. (1943). *Principles of Behavior*. Appleton-Century Crofts, New York.

James, W. (1950/1890). *The principles of psychology. Volume One*. Dover, New York.

Ju, M.-Y., Liu, J.-S., y Hwang, K.-S. (2002). Real-time velocity alteration strategy for collision-free trajectory planning of two articulated robot manipulators. *Journal of Intelligent and Robotic Systems*, 33:167–186.

Kagami, S., Kitagawa, T., Nishiwaki, K., Sugihara, T., Inaba, M., y Inoue, H. (2002). A fast dynamically equilibrated walking trajectory generation method of humanoid robot. *Autonomous Robots*, 12:71–82.

Klatzky, R. L., Beall, A. C., Loomis, J. M., Golledge, R. G., y Philbeck, J. W. (1999). Human navigation ability: Tests of the encoding-error model of path integration. *Spatial Cognition and Computation*, 1:31–65.

Knudsen, J. (1999). *Java 2D Graphics*. O'Reilly & Associates, California.

Kuffner, J. J. (2002). Dynamically-stable motion planning for humanoid robots. *Autonomous Robots*, 12:105–118.

Lagoudakis, M. y Maida, A. (1999). Neural maps for mobile robot navigation.

Lampton, C. (1994). *Gardens of Imagination. Programming 3D Maze Games in C/C++*. Waite Group Press, California.

Li, Z. (2002). A saliency map in primary visual cortex. *TRENDS in Cognitive Sciences*, 6:9–16.

Loocke, P. V. (2002). Deep teleology in artificial systems. *Minds and Machines*, 12:87–104.

Marr, M. J. (1992). Behavior dynamics: one perspective. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, 57:249–266.

McNaughton, B., Barnes, C., Gerrard, J., Gothard, K., Jung, M., Knierim, J., Kudrimoti, H., Qin, Y., Skaggs, W., Suster, M., y Weaver, K. (1996). Deciphering the hippocampal polyglot: the hippocampus as a path integration system. *Journal of Experimental Biology*, 199:173–185.

Milhaud, J., Halley, H., y Lassalle, J. M. (2002). Two qtls located on chromosomes 1 and 5 modulate different aspects of the performance of mice of the b 3 d ty ri strain series in the morris navigation task. *Behavior Genetics*, 32:69–78.

Montello, D. R. (2002). Cognitive map-design research in the twentieth century: Theoretical and empirical approaches. *Cartography and Geographic Information Science*, 29:283–304.

Mulaik, S. A. (1995). The methaphoric origins of objectivity, subjectivity, and consciousness in the direct perception of reality. *Philosophy of Science*, 62(2):283–303.

Ogorzalek, M. J., Gallas, Z., Dabrowski, A., y Dabrowski, W. (1996). Wave propagation, pattern formation and memory effects in large arrays of interconnected chaotic circuits. *International Journal of Bifurcation and Chaos*, 6(10):1859–1871.

Olthof, A., Sutton, J. E., Slumskie, S. V., Addetta, J. D., , y Roberts, W. A. (1999). In search of the cognitive map: Can rats learn an abstract pattern of rewarded arms on the radial maze? *Journal of Experimental Psychology: Animal Behavior Processes*, 25(3):325–343.

Oman, C. M., Shebilske, W. L., Richards, J. T., Tubré, T. C., Beall, A. C., y Natapoff, A. (2000). Three dimensional spatial memory and learning in real and virtual environments. *Spatial Cognition and Computation*, 2:355–372.

Palya, W. L. (1992). Dynamics in the fine structure of schedule-controlled behavior. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, 57:267–287.

Papadimitriou, C. H. y Steiglitz, K. (1998/1982). *Combinatorial Optimization. Algorithms and Complexity*. Dover, New York.

Pearce, J. (1987). A model for stimulus generalization for pavlovian conditioning. *Psychological Review*, 94:61–73.

Pearce, J. (1994). Similarity and discrimination: a selective review and a conectionist model. *Psychological Review*, 101:61–73.

Poucet, B. (1993). Spatial cognitive maps in animals: New hypotheses on their structure and neural mechanisms. *Psychological Review*, 100(2):163–182.

Reid, A. y Staddon, J. E. R. (1998). A dynamic route-finder model for the cognitive map. *Psychological Review*, 105:385–401.

Robles, J. (1998). Propieadades cuantitativas de la similaridad entre estímulos. Trabajo de Ascenso . UCAB, Caracas.

Scassellati, B. (2002). Theory of mind for a humanoid robot. *Autonomous Robots*, 12:13–24.

Schlender, D., Peters, O. H., y Wienhöfer, M. (2000). The effects of maps and textual information on navigation in a desktop virtual environment. *Spatial Cognition and Computation*, 2:421 433.

Schmajuk, N. A. y Blair, H. T. (1993). Place learning and the dynamics of spatial navigation: A neural network approach. *Adaptive Behavior*, pages 355–387.

Sharkey, N. y Heemskerk, J. (1996). The neural mind and the robot. In Browne, A., editor, *Current Perspective in Neural Computing*. IOP Press.

Sharkey, N. y Ziemke, T. (1998). A consideration of the biological and psychological foundations of autonomous robotics.

Shatkay, H. y Kaelbling, L. P. (2002). Learning geometrically-constrained hidden markov models for robot navigation: Bridging the topological-geometrical gap. *Journal of Artificial Intelligence Research*, 16:167–207.

Shepard, R.Ñ. (1987). Toward a universal law of generalization for psychological science. *Science*, 237:1317–1324.

Shettleworth, S. (1985). *Cognition, evolution, and behavior.* Oxford University Press, New York.

Silverberg, A. (1996). Psychological laws and non-monotonic logic. *Erkenntnis*, 44:199–224.

Skinner, B. (1938). *The behavior of organisms.* Appleton-Century Crofts, New York.

Skinner, B. F. (1950). Are theories of learning necessary? *Psychological Review*, 57:193–216.

Staddon, J. E. R. (1993). *Behaviorism.* Duckworth, London.

Staddon, J. E. R. (2001). *Adaptive Dynamics. The Theoretical Analysis of Behavior.* MIT Press, Cambridge.

Staddon, J. E. R. y Reid, A. (1990). On the dynamics of generalization. *Psychological Review*, 97:576–578.

Suppes, P. (1991). *Ensayos en metodología y filosofía de la ciencia.* Alianza, Madrid.

Tolman, E. C. (1932). *Purporsive behavior in animals and men.* Appleton-Century-Crofts, New York.

Tolman, E. C. (1948). Cognitive maps in rats and men. *Psychological Review*, 55:189–208.

Tolman, E. C. (1955). Principles of performance. *Psychological Review*, 62:315–326.

Toulmin, S. (1999/1958). *The uses of argument.* Cambridge University Press, Cambridge.

Trullier, O., Wiener, S., Berthoz, A., y Meyer, J. (1997). Biologically-based artificial navigation systems: Review and prospects. *Progress in Neurobiology*, 51:483–544.

Uttal, W. R. (2001). *The new phrenology. The limits of localizing cognitive processes in the brain.* MIT Press, Cambridge.

Uttal, W. R. (2002). *A behaviorist looks at form recognition.* Lawrence Erlbaum, Mahwah.

van Emeren, F. (1996). *Fundamentals of Argumentation Theory.* Lawrence Erlbaum, Mahwah.

Vargas-Irwin, C. (1999). Relaciones entre psicología y biología a la luz de el conductismo de watson. *Analogías del Comportamiento*, 4:53–68.

Waller, D., Loomis, J. M., Golledge, R. G., y Beall, A. C. (2000). Place learning in humans: The role of distance and direction information. *Spatial Cognition and Computation*, 2:333–354.

Warren, W. H. (1998). Visually controlled locomotion: 40 years later. *Ecological Psychology*, 10:177–219.

Weber, K., Venkatesh, S., y Srinivasan, M. V. (1999). Insect-inspired robotic homing. *Adaptive Behavior*, 7:65–98.

Wenseleers, T., Billen, J., y Hefetz, A. (2002). Territorial marking in the desert ant cataglyphis niger: Does it pay to play bourgeois? *Journal of Insect Behavior*, 15:85–93.

Wexler, M. y Klam, F. (2001). Movement prediction and movement production. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 27:48–64.

Wexler, M., Kosslyn, S. M., y Berthoz, A. (1998). Motor processes in mental rotation. *Cognition*, 68:77–94.

Wiltschko, W. y Wiltschko, R. (1996). Magnetic orientation in birds. *Journal of Experimental Biology*, 199:29–38.

Yeap, W. K. y Jefferies, M. E. (1999). Computing a representation of the local environment. *Artificial Intelligence*, 107(2):265–301.

Apéndice

A. Procedimiento Computacional

Como se mencionó en el procedimiento, el conjunto de unidades conectadas, que representan las posiciones espaciales en el laberinto virtual, pueden ser expresadas como un grafo conectado, con la siguiente forma general:

$$G = [E, C] \tag{6}$$

El grafo conectado que representa las posiciones espaciales, las cuales coinciden con las unidades de activación del modelo, generan dos tipos de información: una, las coordenadas $[x, y]$ para cada elemento, en referencia a su posición espacial, de modo que cada unidad corresponde a una posición 'abierta' dentro del mapa del laberinto, tal como se muestra en el apéndice sobre el programa *tolmanVR*; mientras que el segundo tipo de información, es la relativa a la matriz de adyacencia, muy necesaria para realizar los cómputos. La matriz de adyacencia está compuesta por un conjunto de elementos k_{ij}, en términos de la conexión entre el elemento i y el elemento j, de manera que si existe una conexión $c_{ij} \in C$, que une a los elementos $e_i \in E$ y $e_j \in E$, $k_{ij} = 1$. Esto tiene especiales implicaciones cuando se compara con el procedimiento original del modelo RF.

A diferencia de Staddon (2001) y Reid y Staddon (1998), el grafo que es constituido por las unidades que representan las posiciones espaciales, es un grafo conectado, en el sentido de existir una ruta Euler que conecta a cada par de elementos, desde el elemento 0 hasta el elemento n, permitiéndo recorrer todos los elementos, siendo n el número total de elementos o posiciones espaciales. Como se mencionó en el procedimiento, esta arquitectura es una arquitectura de conexión parcial, en la cual el número de vecinos para una posición es siempre igual o menor a 3 y siempre mayor a 1.

En su implementación original, el modelo funciona con una arquitectura de conexión completa, con ocho vecinos para cada elemento, exeptuando los elementos de las esquinas que tienen tres vecinos y los elementos de los bordes que tienen cinco vecinos. Adicionalmente, los autores usan una estrategia computacional basada en grafos desconectados, empleando entonces un procedimiento de actualización de los valores denominado *bosque expansivo*, en el cual cada grafo, contentivo de un arbol de elementos, es visitado una sola vez en cada iteración, para ser actualizado.

En el presente caso, no se trata de grafos desconectados, sino de un solo grafo

conectado, el problema de recorrer el grafo, de modo de visitar cada elemento una sola vez, requiere un algoritmo de *arbol expansivo*, de forma tal que en cada iteración, todos los valores de V sean actualizados, pero cada valor Vi, sea actualizado una sola vez (Papadimitriou y Steiglitz, 1982). Dicho algoritmo fue codificado por el autor en un programa escrito en Java, especialmente hecho para la simulación del proceso de desplazamiento, usando además las clases especiales de geometría de la biblioteca de progamación Java2D, para facilitar el logro del isomorfismo entre la superficie computacional y el diseño espacial del laberinto virtual.

En realidad la ecuación 4 es una versión ilustrativa del proceso de difusión bidimensional. La ecuación 7 muestra un elemento más realista desde el punto de vista computacional:

$$\Delta V_i = (\alpha/N_i)\sum_{j=1}^{N} k_{ij}(V_j - V_i), \qquad j \neq i \quad 0 < \alpha < 1 \tag{7}$$

Siendo k_{ij}, el indicador de adjacencia entre los elementos i,j (Staddon, 2001, ecuación 11.4).

De esta forma, para estimar la difusión entre dos elementos, hay que verificar primero la matriz de adyacencia para determinar si $k_{ij} = 1$, de forma que el valor de activación V_i, se va a relacionar con el valor V_j. Si bien el grafo es conectado, y existe la ruta de conexión entre todos los elementos, sólo los elementos próximos, con una distancia igual a 1, se conectan en la ecuación. En este sentido la difusión ocurre sólo *localmente*, sin un efecto directo entre posiciones espaciales que no estén en vecindad inmediata.

B. Programa de Simulación del Laberinto Virtual

El laberinto virtual está diseñado en correspondencia con el grafo conectado del modelo, siguiendo un diseño gráfico, en el cual cada unidad de procesamiento (equivalente a una posición), puede tener dos valores. Cuando se trata de una posición abierto, en la cual puede haber desplazamiento, su valor es igual a 1. Cuando se trata de una pared sólida, en la cual no puede haber desplazamiento, su valor es igual a 0;

La tabla de diseño del laberinto, muestra cómo el laberinto corresponde a una estructura de 16×16 celdillas, en la cual las columnas representan posiciones en el eje x, y las filas representan al eje y, usando el eje y en coordenadas inversas 'de arriba hacia abajo'.

0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0
0	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	1	0	0	1	0
0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	0	1	0
0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	1	0	1	0
0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	0	1	0
0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	0	1	0
0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	1	0	1	0
0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	0	1	0
0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	0	1	0
0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	1	0	1	0
0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	0	1	0
0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	0	1	0
0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	1	0	1	0
0	1	1	1	0	1	1	1	1	1	0	1	0	0	1	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

El programa *tolmanVR*, está hecho en Java, usando la biblioteca de programación Java2D, usando una estrategia gráfica denominada *geometría constructiva*, en la cual distintas líneas son superpuestas de forma conveniente, para generar la escena frontal de la posición actual del organismo en el ambiente vir-

tual. Ante cada acción de movimiento generada por el el teclado, las paredes o corredores son redibujados según lo que indica la tabla, sobre la base de una visibilidad de cuatro posiciones a la redonda. Las distintas líneas son dibujadas para formar bloques de paredes sólidas o corredores y para ajustar la distancia de cada bloque a la posición relativa del organismo. Esto se hace en un *buffer* de memoria de video, para luego actualizar la imagen de manera instantánea, evitando la ilusión de contrucción progresiva de la imagen que surgiría de dibujar las líneas directamente en la pantalla.

La velocidad de actualización de la pantalla es de 6 cuadros (imágenes) por segundo, siendo regulada la entrada de teclado a una posición por entrada de teclado, limitándo el movimiento a la velocidad máxima de actualización para mantener la ilusión de continuidad del movimiento. La resolución gráfica es constante a 640x480 píxels.

Esta técnica de producción de laberintos virtuales se denomina laberinto de *malla de alambre*, ya que los polígonos son construidos en base a líneas exteriores. Existen otras técnicas de geometría constructiva, como la poligonal, que produce laberintos más realistas, pero menos 'puros' para efectos experimentales, al introducir claves posicionales por errores de aproximación en el cómputo de las posiciones de los polígonos. De la misma forma, técnicas más avanzadas, como la proyección de texturas o el trazado de rayos (Lampton, 1994), pueden introducir claves cromáticas que perturbarían el proceso que se estudia.