

Desarrollo de un programa computacional para simular las predicciones del modelo de elementos reemplazados (REM) de condicionamiento pavloviano

Edgar H. Vogel, Claudia A. Díaz*, Jorge A. Ramírez*, Mary C. Jarur*, Andrés M. Pérez-Acosta**
y Allan R. Wagner***

Universidad de Talca (Chile), * Universidad Católica del Maule (Chile), ** Universidad del Rosario (Colombia) y *** Yale University (USA)

Pese a la aparente simpleza del condicionamiento pavloviano, la investigación acerca de sus mecanismos ha despertado considerable debate, como es el caso de la disputa acerca de si los estímulos que se asocian son codificados en forma «elementalista» (un estímulo compuesto es equivalente a la suma de sus componentes) o «configuracional» (un estímulo compuesto es un ejemplar único). Esta controversia es evidente en la abundante investigación sobre las predicciones contrastantes de los modelos elementalistas y configuracionales. Recientemente, han surgido soluciones mixtas, con las ventajas de ambos enfoques, pero difíciles de evaluar dada su complejidad. Este artículo presenta un programa computacional para ejecutar simulaciones de un modelo mixto (*replaced elements model* o REM). Se incluyen instrucciones y ejemplos para utilizar el simulador con fines investigativos y educacionales.

Development of a computer program to simulate the predictions of the replaced elements model of Pavlovian conditioning. Despite of the apparent simplicity of Pavlovian conditioning, research on its mechanisms has caused considerable debate, such as the dispute about whether the associated stimuli are coded in an «elementistic» (a compound stimuli is equivalent to the sum of its components) or a «configural» (a compound stimuli is a unique exemplar) fashion. This controversy is evident in the abundant research on the contrasting predictions of elementistic and the configural models. Recently, some mixed solutions have been proposed, which, although they have the advantages of both approaches, are difficult to evaluate due to their complexity. This paper presents a computer program to conduct simulations of a mixed model (*replaced elements model* or REM). Instructions and examples are provided to use the simulator for research and educational purposes.

El aprendizaje asociativo fue uno de los primeros fenómenos estudiados por la psicología experimental y ha sido uno de los estándares de la psicología comparada en sus más de cien años de existencia. El condicionamiento clásico o pavloviano, una de las formas más simples de aprendizaje asociativo, es un fiel exponente de la vitalidad e importancia que aún tiene la investigación y las aplicaciones en esta área (Turkkan, 1989; Briñol et al., 2000; Trujillo et al., 2006). Este tipo de aprendizaje consiste en presentaciones pareadas de un estímulo conductualmente neutral (estímulo condicionado, o EC) y un estímulo biológicamente significativo (estímulo incondicionado, o EI), es decir, capaz de producir en el organismo una respuesta incondicionada (RI). Con un número suficiente de tales pareos, el EC por sí solo comienza a provocar una respuesta condicionada (RC), la cual es normalmente muy similar a la RI (Pavlov, 1927).

Después de su descubrimiento a fines del siglo XIX, la investigación acerca de los mecanismos del condicionamiento pavloviano ganó inmediatamente espacio en las agendas de los inves-

tigadores. La intuición de la mayoría era que se estaba frente a un mecanismo fundamental de la supervivencia animal, por el cual uno o varios estímulos se transforman en señales o predictores de otros eventos de relevancia adaptativa. El siglo XX fue testigo del perfeccionamiento de varios modelos animales, desde invertebrados (Carew, Hawkins, y Kandel, 1983) hasta humanos (Marcos, 1997), que permitieron la acumulación de una enorme cantidad de información empírica acerca de las regularidades conductuales de este paradigma y de sus fundamentos neurobiológicos. Este ímpetu por la investigación empírica fue acompañado desde muy temprano por la elaboración de teorías y modelos del aprendizaje, entre los cuales predominaron los modelos cuantitativos o matemáticos, los cuales presentaban grandes ventajas en cuanto a su rigurosidad predictiva y plausibilidad biológica.

En la actualidad, los modelos cuantitativos de condicionamiento han crecido en complejidad y sus creadores se han contactado con otras disciplinas tales como la inteligencia artificial y la neurociencia (Rozo, Baquero, y Pérez-Acosta, 2004). En estas teorías, el aprendizaje es concebido como cambios en redes neuronales conexionistas, donde los estímulos se representan por nodulos que se influyen unos a otros a través de conexiones asociativas plásticas. El condicionamiento clásico sería el resultado del fortalecimiento de las conexiones entre las unidades que representan al EC y al EI (Vogel, Soto, Castro, y Solar, 2006).

Fecha recepción: 2-5-06 • Fecha aceptación: 24-1-07

Correspondencia: Edgar H. Vogel

Escuela de Psicología

Universidad de Talca

Casilla nº 747 - Talca (Chile)

E-mail: evogel@utalca.cl

Al comienzo, los teóricos conexionistas se concentraron principalmente en descubrir los mecanismos mediante los cuales las conexiones entre estímulos se fortalecen o debilitan, para formalizarlos matemáticamente en reglas de aprendizaje. En la actualidad, existe bastante acuerdo entre los investigadores que la regla de aprendizaje que se debe usar para modificar las conexiones entre el EC y el EI debería ser del tipo de aquella que propusieron Rescorla y Wagner (1972), la cual asume que el cambio en la fuerza asociativa de un EC en un ensayo de aprendizaje depende de la diferencia entre el valor del EI que se obtiene en el ensayo (valor real) y el valor que se esperaba obtener (valor predicho) por todos los ECs presentes en el ensayo.

Sin embargo, un aspecto que ha permanecido bajo considerable debate entre los teóricos e investigadores es el relacionado con la naturaleza de la representación efectiva de los estímulos que participan del proceso de aprendizaje (Rescorla y Wagner, 1972; Pearce, 1994; Wagner, 2003). En efecto, una de las grandes preguntas que ha cautivado el interés de los investigadores del aprendizaje asociativo se refiere a cuál es la relación que existe entre el valor asociativo que adquiere un compuesto formado por varios estímulos, en comparación con el valor de cada uno de sus componentes. El llamado «enfoque elementalista» (Rescorla y Wagner, 1972) sostiene que el valor asociativo de un estímulo compuesto puede ser caracterizado como la suma del valor asociativo de sus componentes, mientras que el «enfoque configuracional» (Pearce, 1987, 1994) sostiene que el valor asociativo del compuesto es un todo único, distinto de la suma de sus componentes.

El enfoque elementalista está representado por el modelo de Rescorla y Wagner (1972; Wagner y Rescorla, 1972). Este modelo plantea que la representación de un conglomerado de estímulos que se presentan juntos es equivalente a la suma de las representaciones de cada estímulo por separado, más un elemento único activado exclusivamente por la presentación conjunta de los elementos. Por ejemplo, si un animal es entrenado con un compuesto AB formado por dos estímulos, A y B (por ejemplo, un sonido y una luz), se asume que hay tres elementos que desarrollarán una asociación independiente con el EI: el elemento *a* (activado por la presencia del estímulo A), el elemento *b* (activado por la presencia del estímulo B) y el elemento *ab* (activado por la presencia conjunta de los estímulos A y B). Se asume que la fuerza asociativa del estímulo compuesto AB, llamada V_{AB} es equivalente a la suma de fuerza asociativa de sus componentes, $V_a + V_b + V_{ab}$.

El modelo de Rescorla y Wagner (1972) asume que la fuerza asociativa de cada elemento se transferirá a cualquier otro estímulo compuesto, en el cual participen algunos o todos los estímulos previamente entrenados. Por ejemplo, si luego del entrenamiento con AB, el animal recibe un ensayo de prueba con el estímulo A, la única fuerza asociativa disponible para A está dada por V_a , con lo cual uno podría esperar una disminución en la respuesta condicionada. Similarmente, si el animal recibe un ensayo de prueba con el estímulo ABC, la fuerza asociativa de este nuevo compuesto será equivalente a la de AB, ya que ABC contiene todos los elementos de AB, más los elementos no entrenados relacionados con el estímulo C (es decir, $V_c = V_{ac} = V_{bc} = V_{abc} = 0$).

Es importante notar que pese a la existencia de una clave única, «configuracional», el modelo de Rescorla y Wagner (1972), en estricto rigor, sigue siendo elementalista, ya que un compuesto de dos estímulos contiene la suma de las representaciones de ambos estímulos más un componente «adicional». De ahí que Brandon, Vogel y Wagner (2000) lo rebautizaran como «modelo de los elementos agre-

gados» para referirse al hecho de que un estímulo compuesto contiene las representaciones sumadas de sus componentes y «algo más».

Esta postura elementalista ha sido cuestionada por John Pearce (1994, 2002), quien propuso un modelo que asume que las configuraciones son las unidades funcionales básicas en una situación de condicionamiento. Según este enfoque, cada estímulo compuesto es una configuración única que desarrolla una asociación unitaria con el EI. Sin embargo, además de la fuerza asociativa que adquiere directamente la configuración, E_i , también se asume la existencia de otra fuerza asociativa, e_i , que la configuración obtiene indirectamente gracias a la generalización desde otras configuraciones que contienen algunos de sus componentes. Por ejemplo, se asume que un estímulo compuesto AB tendrá una fuerza asociativa total V_{AB} equivalente a la suma de $E_{AB} + {}_j e_{AB} + \dots + {}_n e_{AB}$, donde los últimos sumandos representan las fuerzas asociativas que se generalizan a la configuración AB, provenientes de las configuraciones j, \dots, n , que incluyen a los estímulos A o B. El valor de ${}_j e_{AB}$ está dado por la fuerza asociativa de la configuración J , ponderada por la semejanza que ésta tiene con AB. La semejanza entre dos configuraciones, S_{ij} , está, a su vez, dada por la cantidad de elementos que comparten. En resumen $V_i = E_i + \sum S_{ij} e_j$.

Más allá de estas diferencias fundamentales en la forma que estos dos modelos conciben la representación de los estímulos, ambos utilizan básicamente la misma regla para calcular el cambio asociativo en los ensayos de entrenamiento. El modelo de Rescorla y Wagner (1972) sostiene que la cantidad de cambio en la fuerza de la asociación de cada uno de los componentes de AB en un determinado ensayo es igual a $\alpha\beta[\lambda - (V_a + V_b + V_{ab})]$, donde α y β representan parámetros de tasa de aprendizaje y λ es el valor máximo o asintótico de aprendizaje sostenido por el EI. Análogamente, el modelo de Pearce (1987, 1994) sostiene que el cambio en la fuerza asociativa directamente condicionada a la configuración AB está dada por $\beta[\lambda - (E_{AB} + {}_j e_{AB} + \dots + {}_n e_{AB})]$.

Aunque las posturas elementalista y configuracional se han descrito como posturas contrapuestas, es importante apreciar que ambas reconocen tanto procesos configuracionales como elementalistas. Brandon, Vogel y Wagner (2000) enfatizaron que la principal diferencia entre estos dos enfoques se puede apreciar en la operación que el modelo realiza cuando se forma un compuesto con estímulos que se habían presentado por separado (o *composición* de estímulos). El modelo elementalista siempre asume una *sumatoria* de la fuerza asociativa de los componentes al formar un compuesto, mientras que el modelo configuracional siempre asume una *sustracción* o *pérdida* de la fuerza asociativa de cada elemento cuando éstos se presentan en compuesto.

Los investigadores han diseñado una gran cantidad de experimentos que exploran el fenómeno de composición de estímulos y, como es natural, los defensores de cada postura citan numerosas demostraciones empíricas que favorecen sus respectivas teorías (Pearce, 2002; Wagner, 2003; Vogel, Castro, y Saavedra, 2004). Por ejemplo, el enfoque elementalista predice sumatoria de la respuesta a dos estímulos entrenados separadamente y probados en compuesto (entrenamiento con A+ y B+ y prueba con AB), mientras que el enfoque configuracional predice un fenómeno de «promediación» en este caso. La predicción del modelo elementalista radica en su carácter aditivo, donde cada elemento aporta la totalidad de su fuerza asociativa al formar un compuesto con otro estímulo. Por el contrario, según el modelo configuracional sustractivo, cada estímulo aporta sólo la mitad de su fuerza asociativa al

formar el compuesto, ya que cada uno de ellos se parece sólo en un 50% al estímulo AB.

Con respecto a la sumatoria, la literatura en condicionamiento clásico muestra resultados contradictorios. Por ejemplo, numerosos estudios realizados con ratas y conejos, los cuales generalmente utilizan estímulos condicionados de distintas modalidades sensoriales (auditiva, visual y táctil), han encontrado evidencia de sumatoria, lo cual apoya la perspectiva elementalista (Kehoe, Horne, Horne, y Macrae, 1994; Konorski, 1948; Pearce y Wilson, 1991; Rescorla, 1997; Wagner, 1971; Whitlow y Wagner, 1972). Por el contrario, se ha observado ausencia de sumatoria en estudios que utilizan el procedimiento de automoldeamiento en palomas y estímulos visuales (Aydin y Pearce, 1995; Rescorla y Coldwell, 1995).

Además de estos experimentos con sumatoria simple, se han realizado algunas pruebas más complejas de los principios aditivo y sustractivo que distinguen a ambos enfoques, encontrándose el mismo nivel de ambigüedad en los resultados. A pesar de ciertos esfuerzos por explicar estas discrepancias (Bahçekapili, 1997; Myers et al., 2001; Pearce, 2002), este tema está aún sin solución.

La idea predominante en la actualidad es que la controversia puede ser resuelta asumiendo que ambos tipos de enfoques son parcialmente correctos, y que la codificación de estímulos involucra tanto aspectos configuracionales como elementalistas y que el predominio de una u otra estrategia de codificación depende de ciertas variables relacionadas con los estímulos, la tarea y los individuos. Consecuentemente, los investigadores se han volcado hacia la búsqueda de las condiciones precisas que determinan uno u otro tipo de procesamiento y los teóricos han comenzado a desarrollar modelos flexibles que permitan esta alternancia en el modo de procesamiento (Wagner, 2003).

Desafortunadamente, la flexibilidad va acompañada de un importante aumento en la complejidad de los modelos, lo cual dificulta considerablemente la exploración de sus predicciones. El propósito del presente trabajo es introducir una herramienta informática que permita evaluar las predicciones de uno de estos modelos: el modelo de elementos reemplazados, REM, de Allan Wagner (2003). El programa permitirá explorar las predicciones de este modelo bajo distintas condiciones paramétricas, las cuales, en sus respectivos valores extremos, reflejan las posturas configuracional y elementalista. Más aún, como se verá más adelante, el modelo REM puede actuar exactamente como el modelo Rescorla-Wagner o como el modelo de Pearce, dependiendo de ciertos valores asignados a uno de sus parámetros. Por ello, puede decirse que el simulador permite trabajar con estos tres modelos: configuracional, elementalista y mixto.

En la próxima sección presentaremos los fundamentos teóricos del modelo REM (Brandon, Vogel, y Wagner, 2000; Wagner, 2003) y su relación con el modelo elementalista de Rescorla y Wagner (1972) y el modelo configuracional de Pearce (1987, 1994). Posteriormente, proporcionaremos las instrucciones para realizar simulaciones computacionales con este modelo. Finalmente, discutiremos algunos ejemplos acerca de cómo opera el programa.

El modelo mixto de los elementos reemplazados de Wagner (2003)

Con el fin de manejar los resultados empíricos contradictorios, Wagner y sus colegas (Brandon, Vogel, y Wagner, 2000;

Wagner, 2003) propusieron un modelo alternativo, el cual aparentemente tiene las ventajas de los enfoques configuracional y elementalista. El modelo asume una estrategia molecular o componencial, en la cual la representación de los estímulos se forma a partir de la actividad de un gran número de componentes o elementos, los cuales tienen distintas probabilidades de activación y establecen conexiones independientes con el estímulo incondicionado.

Representación de los estímulos

El modelo propone que cualquier estímulo está representado por un conjunto de elementos, algunos de los cuales son independientes del contexto y otros son dependientes del contexto. Los elementos independientes del contexto se activan siempre que el estímulo está presente sin importar qué otros estímulos lo acompañen, mientras que los elementos dependientes del contexto se activan dependiendo de la presencia o ausencia de otros estímulos. Por ejemplo, supongamos que tenemos dos estímulos, A y B, los cuales se pueden presentar por sí solos (A o B) o en conjunto (AB). La representación de A incluye un conjunto de elementos que se activan tanto en A como en AB (los elementos «independientes del contexto» denotados como « a_i »), un segundo tipo de elementos que se activan solamente cuando se presenta A en ausencia de B (denotados como « a_{-b} ») y un último tipo de elementos que se activan solamente cuando se presentan A y B juntos (denotados como « a_b »). Puede decirse que los elementos del tipo a_{-b} son reemplazados por los elementos del tipo a_b cuando A se presenta en conjunto con B. En cuanto a la representación del estímulo B, la situación es análoga, es decir, existe un conjunto de elementos independientes del contexto (b_i) y un conjunto de elementos dependientes de la ausencia o presencia del estímulo A (b_{-a} y b_a , respectivamente).

Hasta ahora hemos discutido lo que ocurre en la simple situación en la que hay solamente 2 estímulos involucrados para los cuales se requieren 6 tipos de elementos (a_i , b_i , a_{-b} , b_{-a} , a_b y b_a). Sin embargo, tanto en el mundo real como en la mayoría de las situaciones experimentales de condicionamiento, intervienen más de dos estímulos. Por ejemplo, si tenemos 3 estímulos A, B y C, la representación del estímulo A, tanto sólo como en combinación con los estímulos B, C, o ambos, requiere de 9 tipos de elementos o subconjuntos de elementos. Los elementos independientes del contexto (a_i) sólo requieren de la presencia de A, mientras que los otros 8 tipos de elementos dependen además de alguna de las siguientes condiciones: que no esté B (a_{-b}), que no esté C (a_{-c}), que no estén ni B ni C (a_{-b-c}), que esté B (a_b), que esté C (a_c), que estén B y C (a_{bc}), que esté B y que no esté C (a_{b-c}) y que no esté B y que esté C (a_{-bc}). Análogamente, las representaciones de B y C requieren de nueve tipos de elementos cada una, con lo cual totalizamos 27 tipos de elementos para los 3 estímulos.

A medida que aumenta el número de estímulos condicionados, aumenta la variedad de tipos de elementos dependientes del contexto que se necesitan para representar todas las combinaciones de estímulos. El simulador que presentamos en este artículo tiene capacidad para trabajar con 4 estímulos condicionados, lo cual significa que opera con 108 tipos de elementos. En la tabla 1 se presentan las 15 combinaciones que se podrían formar con los estímulos A, B, C y D, indicándose los elementos que se activan con cada una.

Tabla 1
Posibles combinaciones a partir de cuatro estímulos (A, B, C, D), con sus respectivos tipos de elementos, según el modelo REM

Estímulo	Tipos de elementos	
	Independientes del contexto	Dependientes del contexto
A	a _i	a-b, a-c, a-d, a-b-c, a-b-d, a-c-d, a-b-c-d
B	b _i	b-a, b-c, b-d, b-a-c, b-a-d, b-c-d, b-a-c-d
C	c _i	c-a, c-b, c-d, c-a-b, c-a-d, c-b-d, c-a-b-d
D	d _i	d-a, d-b, d-c, d-a-b, d-a-c, d-b-c, d-a-b-c
AB	a _i , b _i	ab, ba, a-c, b-c, a-d, b-d, ab-c, ba-c, ab-d, ba-d, a-c-d, b-c-d, ab-c-d, ba-c-d
AC	a _i , c _i	ac, ca, a-b, c-b, a-d, c-d, ac-b, ca-b, ac-d, ca-d, a-b-d, c-b-d, ac-b-d, ca-b-d
AD	a _i , d _i	ad, da, a-b, d-b, a-c, d-c, ad-b, da-b, ad-c, da-c, a-b-c, d-b-c, ad-b-c, da-b-c
BC	b _i , c _i	bc, cb, b-a, c-a, b-d, c-d, bc-a, cb-a, bc-d, cb-d, b-a-d, c-a-d, bc-a-d, cb-a-d
BD	b _i , d _i	bd, db, b-a, d-a, b-c, d-c, bd-a, db-a, bd-c, db-c, b-a-c, d-a-c, bd-a-c, db-a-c
CD	c _i , d _i	cd, dc, c-a, d-a, c-b, d-b, cd-a, dc-a, cd-b, dc-b, c-a-b, d-a-b, cd-a-b, dc-a-b
ABC	a _i , b _i , c _i	ab, ba, ac, ca, bc, cb, a-d, b-d, c-d, abc, bac, cab, ab-d, ac-d, ba-d, ca-d, bc-d, cb-d, abc-d, bac-d, cba-d
ABD	a _i , b _i , d _i	ab, ba, ad, da, bd, db, a-c, b-c, d-c, abd, bad, dab, ab-c, ad-c, ba-c, da-c, bd-c, db-c, abd-c, bad-c, dba-c
ACD	a _i , c _i , d _i	ac, ca, ad, da, cd, dc, a-b, c-b, d-b, acd, cad, dac, ac-b, ad-b, ca-b, da-b, cd-b, dc-b, acd-b, cad-b, dca-b
BCD	b _i , c _i , d _i	bc, cb, bd, db, cd, dc, b-a, c-a, d-a, bcd, cbd, dbc, bc-a, bd-a, cb-a, da-a, dc-a, bcd-a, cbd-a, dcb-a
ABCD	a _i , b _i , c _i , d _i	ab, ba, ac, ca, ad, da, bc, cb, bd, db, cd, dc, abc, abd, acd, bac, bad, bcd, cab, cad, cbd, dab, dac, dbc, abcd, bacd, cabd, dabc

Nota: los elementos denotados como a_i, b_i, c_i y d_i, son elementos independientes del contexto, es decir, se van a activar siempre que estén presentes los estímulos A, B, C o D, respectivamente, independientemente de los otros estímulos que los acompañen. Todos los otros elementos son «dependientes del contexto», es decir, aunque también se activan con la presencia de un estímulo determinado, dependen además de que se cumpla alguna otra condición relacionada con los otros estímulos (o contextos), la cual puede ser tanto la presencia (denotado por una letra minúscula correspondiente al estímulo) como la ausencia de éstos (denotado por el símbolo «~» antepuesto a la letra del estímulo correspondiente)

Noción de independencia estadística de los reemplazos

Como se aprecia en la tabla 1, la representación de cada estímulo contiene elementos que permanecen (independientes del contexto) y elementos que se reemplazan (dependientes del contexto). La naturaleza de los reemplazos está determinada por la presencia y la ausencia de determinados estímulos (por ejemplo, los elementos del tipo «a_{-i}» reemplazan a los del tipo «a_i» y viceversa) y se puede deducir fácilmente para cualquier número de estímulos condicionados. Lo que no se ha especificado hasta ahora es cuántos elementos de cada tipo forman parte de la representación de cada estímulo. Por ejemplo, en el caso de dos estímulos A y B, uno podría establecer que la proporción de elementos de A que son independientes del contexto (es decir, aquellos que no se reemplazan o que no dependen de B) es la misma que la proporción de elementos de A que son dependientes del contexto (es decir, aquellos que se reemplazan o que dependen de B). Si llamamos r_b a la proporción de elementos de A que se reemplazan o que dependen de B, entonces tenemos que r_b = 0.5, lo que a su vez significa que la proporción de elementos de A que no dependen de B es igual [(1- r_b)= 0.5]. En este caso, se dice que A y AB comparan el 50% de los elementos que los representan.

La importancia del parámetro «r» radica en el hecho de que éste determina el nivel de reemplazo del modelo. Por ejemplo, supongamos ahora que r_b = 0. Esto significa que ningún elemento de A depende de la presencia o ausencia de B y que, por lo tanto, todos los elementos de A también se activan en AB, lo cual sería una instancia extrema del enfoque elementalista. Por el contrario, si r_b es alto, digamos 1, se asume que todos los elementos de A serán reemplazados cuando se presenta en conjunto con B. En este caso A y AB no tienen nada en común, lo cual sería una instancia ex-

trrema del enfoque configuracional. Naturalmente, el modelo REM permite trabajar con valores intermedios de r. A mayor valor de r, mayor es la proporción de elementos dependientes del contexto y más configuracional será el procesamiento de los estímulos, mientras que a menor r, mayor será la proporción de elementos independientes del contexto y más elementalista el procesamiento de los estímulos.

En el caso de dos estímulos A y B, los elementos que no se reemplazan son exactamente los mismos que los elementos independientes del contexto. Sin embargo, esto no es así cuando se trabaja con más de dos estímulos, ya que, por ejemplo, los elementos de A que no dependen de B, no son necesariamente los mismos que los elementos de A que no dependen de C. Naturalmente, también existen elementos de A que no dependen ni de B ni de C, los cuales, en este ejemplo de 3 estímulos, son los verdaderamente independientes del contexto. Wagner (2003) propuso la noción de independencia estadística para describir lo que ocurre con los reemplazos de elementos cuando hay más de dos estímulos condicionados. Esta noción sugiere que los elementos del estímulo A que dependen de la presencia o ausencia B, son estadísticamente independientes de los elementos de A que dependen de la presencia o ausencia de C. Esto significa que si la proporción de elementos de A que no dependen de B es (1-r_b) y la proporción de elementos de A que no dependen de C es (1-r_c), entonces la proporción de elementos de A que no dependen ni de B ni de C es (1-r_b) × (1-r_c). Similarmente, la proporción de elementos de A que dependen de ambos B y C es r_b × r_c. Por último, la regla señala que la proporción de elementos de A que no dependen de B pero que dependen de C es (1-r_b) × r_c, mientras que la proporción de elementos de A que no dependen de C pero que dependen de B es (1-r_c) × r_b.

A partir de este principio de independencia estadística de los reemplazos, es posible determinar cómo se repartirán las proporciones de cada uno de los tipos de elementos que representan a cualquier combinación de estímulos. La regla señala que la proporción de elementos del tipo X, o P_x está dada por:

$$P_x = \prod_{j=1}^n (1 - r_j) \prod_{k=1}^m r_k \quad (1)$$

Donde P_x es la proporción de elementos del tipo x, n es el número de estímulos de los cuales no dependen los elementos tipo x, y m es el número de estímulos de los cuales dependen los elementos tipo x, aparte del estímulo que representan.

La ecuación 1 se puede simplificar considerablemente si se asume que el valor del parámetro r es idéntico para todos los estímulos (es decir, $r_a = r_b = r_c = r$). Con este supuesto tenemos que:

$$P_x = (1-r)^n r^m \quad (2)$$

Donde n es el número de estímulos condicionados cuya presencia o ausencia no influye en el comportamiento de los elementos del tipo X aparte del estímulo que éste representa y m es el número de estímulos cuya presencia o ausencia influye en la actividad de estos elementos.

Las ecuaciones 1 y 2 permiten implementar en forma explícita la idea de reemplazo propuesta originalmente por Wagner y sus colaboradores (Brandon, Vogel, y Wagner, 2000; Wagner, 2003). Asimismo, estas ecuaciones fueron utilizadas en la construcción del simulador que presentamos en este artículo.

Regla de aprendizaje

En el modelo REM, la asociación se produce entre los elementos y el EI. La regla utilizada para el cambio en la fuerza asociativa de un elemento es la regla propuesta por Rescorla y Wagner (1972), con la única diferencia que en lugar de calcular el cambio asociativo del EC como un todo, se calcula el cambio asociativo de cada elemento que se encuentra activo en un determinado ensayo. Formalmente, el cambio en la fuerza asociativa de cada elemento, Δv_i , está dado por la siguiente ecuación:

$$\Delta v_i = \alpha \beta (\lambda - \sum v_i) \quad (3)$$

donde Δv_i es el cambio en la fuerza asociativa del elemento i en el ensayo, α y β representan la intensidad del elemento i y del estímulo incondicionado, respectivamente, λ es el valor máximo o asintótico de aprendizaje y $\sum v_i$ es la suma de las fuerzas asociativas de todos los elementos que están activos en el ensayo. Los valores de v_i representan la fuerza asociativa de cada elemento.

La fuerza asociativa neta que resulta de la presentación de un estímulo A es equivalente a la suma de las fuerzas asociativas de sus elementos. El número total de elementos que se utiliza en el modelo es irrelevante puesto que basta con asumir que existe un número grande pero finito de elementos que representan a cada estímulo. Lo que sí es relevante es la proporción en la que se dan cada uno de los distintos tipos de elementos del modelo, la cual está determinada por las ecuaciones 1 y 2.

Como se puede apreciar, la discrepancia elementalista versus configuracional desaparece con REM, pues lo que tradicional-

mente se llama elementalista o configuracional es una propiedad emergente de la actividad de un gran número de elementos cuya probabilidad de activación varía dependiendo del contexto de estimulación. Esta ganancia en flexibilidad se acompaña, sin embargo, de un considerable aumento en la complejidad del modelo. Esto obliga a los investigadores a asumir dos tareas relacionadas: una empírica y la otra teórica-instrumental. La tarea empírica es detectar cuáles son las condiciones que determinan que los organismos utilicen una u otra estrategia de codificación de estímulos. La investigación experimental acerca de la variabilidad de procesamiento en situaciones de aprendizaje asociativo es escasa y se requiere conducir un número de experimentos básicos para someter a prueba diversas hipótesis acerca de cuáles son las variables críticas en esta alternancia. Por otra parte, la tarea teórica-instrumental se refiere a la necesidad de contar con un instrumento que permita identificar las predicciones de los modelos teóricos. Estas predicciones no son siempre obvias, dada la complejidad de la mayoría de los diseños experimentales y de la estructura asociativa del modelo.

En la siguiente sección presentamos las características básicas de un simulador del modelo REM, construido en MATLAB, más las instrucciones para su operación. Los detalles técnicos de la programación y la pruebas realizadas con el programa pueden encontrarse en Díaz Ríos y Ramírez Cabrera (2005).

Un simulador computacional de REM

Descarga e instalación del simulador de REM

Para operar con el simulador de REM el ordenador debe contar al menos con el sistema *Microsoft Windows XP*, 128 MB de memoria RAM, un procesador de 900 MHz y tener instalados los programas MATLAB 6.5 y *Microsoft Excel*.

El programa simulador de REM puede descargarse en el sitio de Internet <http://www.eici.ucm.cl/Academicos/mjarur/remsimulador>. La descarga permite obtener un archivo o fichero comprimido denominado «REM-SYSTEM». Este archivo debe ser descomprimido, utilizando el programa *Win-Zip* u otro equivalente. Una vez descomprimido, aparecerá una carpeta denominada «REM-SYSTEM».

Para la instalación es necesario seguir los siguientes pasos:

- Mover la carpeta REM_SYSTEM al directorio raíz (C:\).
- Ejecutar MATLAB y seleccionar o escribir «C:\REM_SYSTEM» en la ventana llamada «current directory».
- En la ventana llamada «Command window» escribir «install».
- Luego se desplegará el instalador con las siguientes opciones:
 - Que al iniciar MATLAB siempre se ejecute REM Simulador. Al marcar esta opción, cada vez que se ejecute MATLAB se ejecutará el simulador de REM. Si no se marca esta opción, cada vez que se desee ejecutar el simulador es necesario cerciorarse de que el directorio de trabajo es C:\REM_SYSTEM y luego escribir en la línea de comandos «start».
 - Establecer C:\REM_SYSTEM como directorio de trabajo en MATLAB. Al marcar esta opción, cada vez que se ejecute MATLAB se cargará C:\REM_SYSTEM como el directorio por defecto. Si no se marca esta opción,

cada vez que se requiera ejecutar el simulador es necesario cerciorarse de que el directorio de trabajo es C:\REM_SYSTEM.

- e) Marcar las opciones preferidas y presionar «instalar». Una vez que la instalación termina, MATLAB se cerrará.
- f) En este momento, MATLAB estará listo para abrirse de nuevo y luego comenzar a trabajar con el simulador de REM.

Instrucciones para simular experimentos con el simulador de REM

En primer lugar, el usuario debe definir qué tipo de experimento desea simular. Para ello, debe decidir qué estímulos participarán en el experimento, cuántas fases de entrenamiento ocurrirán y cuáles son los valores de los parámetros del modelo. Posteriormente, se definen cuáles y cuántos van a ser los ensayos de entrenamiento y qué tipo de resultados se desea visualizar.

La primera ventana que se abre una vez que se ingresa al simulador de REM contiene una serie de campos que permiten definir los estímulos y parámetros del experimento. En el campo «Nombre del experimento», se introduce el nombre que se usará para identificar el archivo que contendrá la planilla en *Microsoft Excel*, con los resultados de la simulación. En el campo «Número de ECs» se introduce el número de estímulos condicionados que se utilizarán en el experimento. El simulador permite trabajar con cuatro estímulos condicionados como máximo, denominados A, B, C y D. En cada ensayo, los estímulos se pueden presentar solos o en combinación con otros. El programa acepta todas las combinaciones posibles de estos estímulos en configuraciones de uno (A, B, C, D), dos (AB, AC, AD, BC, BD, CD), tres (ABC, ABD, ACD, BCD) y cuatro (ABCD) estímulos. Luego se debe introducir el «Número de fases» y el «Número de ensayos diferentes» que ocurrirán en el experimento. Es necesario recordar que un ensayo se define como la presencia de uno o varios estímulos condicionados más la presencia o ausencia del estímulo incondicionado. Un ensayo es distinto de otro en la medida en que difieran en al menos uno de los estímulos que los componen. Por último, en los campos «R», «Alfa», «Beta +» y «Beta -», se ingresan los parámetros propios del modelo REM con los cuales se desea trabajar.

Una vez ingresados los parámetros del experimento, el usuario debe definir los ensayos que formarán parte de cada una de las fases del experimento. Para ello se abrirá una nueva ventana para cada fase. Existen dos opciones para elegir cómo se distribuirán los ensayos de la fase, seleccionando las opciones «IGUAL» o «DIFERENTE» en el campo denominado «Distribución de los ensayos». La opción «IGUAL» se escoge si se quiere especificar solamente el número total de ensayos que ocurrirán en la fase. Con la opción «IGUAL», el programa distribuirá el total de ensayos de manera aproximadamente igual entre los distintos tipos de ensayos. Si se elige la opción «IGUAL», se requiere introducir el «Número total de ensayos» que se desea simular para esta fase, el cual debe ser un número entero mayor que cero y menor que el límite indicado en la tabla de ensayos. Al costado derecho, aparece la opción «Orden aleatorio»; si se marca esta opción, los ensayos de cada tipo se distribuirán de forma aleatoria durante la simulación. Si no se marca, los distintos tipos de ensayos ocurrirán en secuencia, hasta completarse el total de ensayos.

En la siguiente ventana, el usuario debe definir las características de los distintos tipos de ensayos. En caso de escogerse la opción «IGUAL», la ventana preguntará por el número total de ensayos, ofrecerá la opción de ensayos aleatorios y mostrará una lista con un número de filas equivalente al «Número de tipos de ensayos» ya señalados en la primera ventana. En cada fila se despliegan los estímulos condicionados con los cuales se va a trabajar (de acuerdo al número elegido en la opción «Número de EC» en la primera ventana) más el estímulo incondicionado. Se seleccionan en cada fila todos aquellos ECs que irán juntos en un ensayo y luego el EI, si éste permanecerá presente en el ensayo.

Si el usuario selecciona «DIFERENTE» en el campo denominado «Distribución de los ensayos», entonces se abre otra ventana. La opción «DIFERENTE» permite especificar un número distinto de repeticiones de cada tipo de ensayo del experimento. En este caso, deberá marcar los estímulos condicionados e incondicionados que formarán cada tipo de ensayo e indicar el número de veces que desea que se repita cada tipo de ensayo. El número total de ensayos de la fase es equivalente a la suma de las repeticiones de cada tipo de ensayo.

Opciones de resultados

El resultado básico de la simulación es el cambio en la fuerza asociativa de los estímulos que participaron en los distintos ensayos de condicionamiento, o bien de las combinaciones nuevas de estímulos que comparten algún elemento en común con aquellos que fueron entrenados. Estos valores de fuerza asociativa se pueden visualizar de tres maneras distintas: a) un gráfico de barras con los valores asociativos finales; b) un gráfico de líneas con la fuerza asociativa a lo largo de los ensayos; y c) una planilla *Microsoft Excel* con una matriz donde las columnas corresponden a las combinaciones de estímulos entrenados y las filas a los ensayos del experimento.

La ventana «RESULTADOS» permite elegir el tipo de resultado que se quiere visualizar. En primer lugar, se marcan las combinaciones que se desean ver y escoge «Gráfico por ensayo» si se quiere obtener un gráfico de líneas de todos los ensayos del experimento. Se escoge «Gráfico valor final» para obtener un gráfico de barras con los valores finales de fuerza asociativa de las combinaciones elegidas. Presionando el botón «Guardar», se almacena la tabla de resultados como una planilla de cálculo con extensión para *Microsoft Excel*, donde las columnas corresponden a las combinaciones de estímulos existentes en el experimento y las filas corresponden a los ensayos del experimento.

Ejemplos de simulaciones

El fenómeno de bloqueo

Kamin (1969) descubrió un fenómeno llamado «bloqueo», en el cual un EC que ha desarrollado una asociación con el EI «bloqueo» el aprendizaje de cualquier otro potencial EC en una fase posterior en que se presentan ambos estímulos juntos seguidos por el EI. Las demostraciones básicas de bloqueo implican un experimento de dos fases. En la primera fase, un estímulo A (por ejemplo, un sonido) es presentado durante varios ensayos en conjunto con el EI (por ejemplo, un choque eléctrico), hasta que desarrolla la habilidad para generar la respuesta condicionada. En la segunda fase, el estímulo A es presentado durante varios ensayos en con-

junto con otro estímulo B (por ejemplo, una luz) y con el EI. El resultado es que en el estímulo B desarrolla muy poca o ninguna capacidad para producir la respuesta condicionada, es decir, es bloqueado por A.

Para simular el experimento de bloqueo con el programa computacional se utilizan dos estímulos condicionados (A y B), dos fases (fase 1 y fase 2) y dos tipos de ensayos (A+EI y AB+EI). Asumamos que el valor elegido para el parámetro «r» es 0, con lo cual el modelo se comporta exactamente como el modelo elementalista de Rescorla y Wagner (1972). Por último, asumamos valores de Alfa, Beta+ y Beta- de 0.2, 1 y 1, respectivamente.

Luego de especificar los estímulos y parámetros, debemos definir la composición de los ensayos para cada fase. Ya que ambas fases tienen un solo tipo de ensayo (A+ en la primera y AB+ en la segunda), no tiene mayor importancia si se elige «IGUAL» o «DIFERENTE» en el campo «Distribución de los ensayos». Por último, elegimos un total de 10 ensayos por fase, lo cual resulta suficiente para alcanzar niveles asociativos relativamente asintóticos.

El simulador reproduce los resultados básicos del bloqueo, mostrando cómo el estímulo B adquiere muy poca fuerza asociativa debido al entrenamiento previo de su acompañante, el estímulo A.

Sumatoria de estímulos

El modelo elementalista de Rescorla y Wagner (1972) predice sumatoria de las fuerzas asociativas de estímulos entrenados separadamente y probados en compuesto, mientras que el modelo configuracional de Pearce (1987, 1994) predice sólo una «promediación» de las fuerzas asociativas de los elementos cuando se presentan en conjunto. Estas predicciones diferenciales de ambos modelos son bastante intuitivas y no requieren de mayor sofisticación computacional para comprenderlas.

Sin embargo, también vimos que el modelo mixto REM podía comportarse tanto como el modelo configuracional de Pearce (con valores de r altos) o elementalista (con valores de r bajos). Pero

¿qué ocurre con valores intermedios? La respuesta a esta pregunta no es tan simple ni intuitiva. Aquí es donde adquieren utilidad los simuladores computacionales.

La figura 1 muestra los resultados del experimento de sumatoria simple predichos por el simulador de REM, bajo diez condiciones paramétricas distintas. En la figura podemos apreciar cómo, a medida que aumenta el valor del parámetro r, disminuye la respuesta al compuesto (AB) con respecto a sus componentes (A/B). Naturalmente, un modelo absolutamente configuracional predice que compuesto y componentes son dos estímulos completamente distintos (r= 1), mientras que un modelo elementalista extremo predice qué compuesto es idéntico a la suma de sus componentes (r= 0).

Existe otro tipo de experimentos en los cuales las predicciones son aún más difíciles de concebir intuitivamente. Uno de tales diseños fue propuesto por Pearce, Aydin y Redhead (1997) y ha sido llamado «sumatoria diferencial». Consiste en el entrenamiento de un grupo de sujetos con tres estímulos individuales reforzados (grupo simple: A+, B+ y C+), mientras a otro grupo se le entrena con las tres combinaciones posibles de dos estímulos, también reforzadas (grupo doble: AB+, AC+ y BC+). En la fase de prueba, se presenta a ambos grupos el compuesto ABC y se compara la respuesta frente a éste para ambos grupos. Las predicciones de los distintos modelos para este experimento no son obvias. La figura 2 muestra el resultado de simulaciones computacionales de REM con diez valores distintos del parámetro r. Como vemos en esta figura, el modelo Rescorla-Wagner (r= 0) predice una mayor respuesta para el compuesto ABC en el grupo simple que en el grupo doble, mientras que el modelo de Pearce (r= 0,5) predice lo opuesto. Entre ambos modelos vemos una gama de posibilidades predichas por diferentes valores de r.

La exploración de estas posibilidades no es trivial, si se considera que los resultados empíricos han sido equívocos, mostrando que en algunas circunstancias los resultados favorecen un procesamiento elementalista (Myers et al., 2001) mientras que otros el procesamiento pareciera ser configuracional (Pearce, Aydin, y

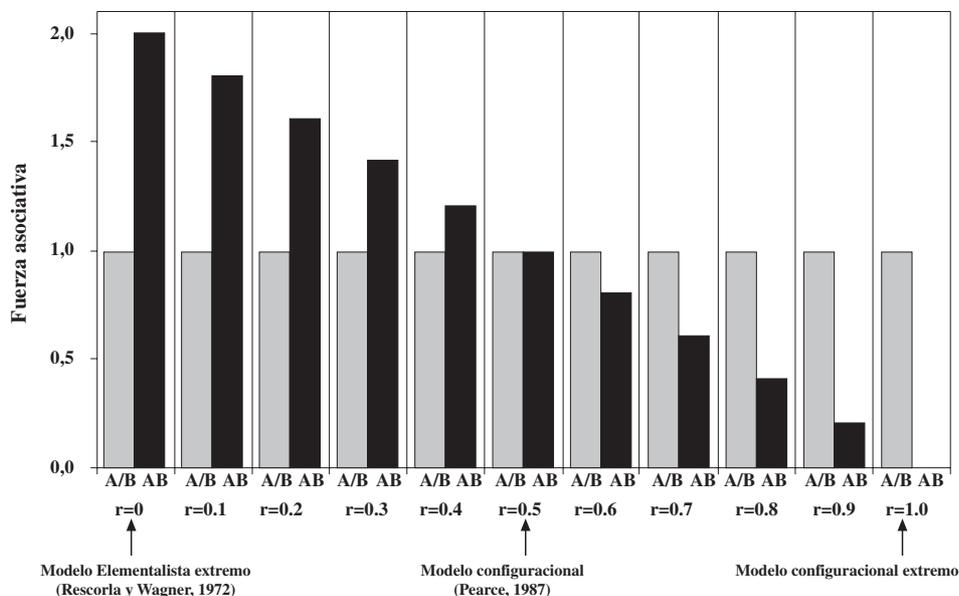


Figura 1. Predicciones del modelo REM en el caso de la sumatoria de estímulos A y B. Se presentan los valores finales para A, B y AB, con valores del parámetro R desde 0 hasta 1

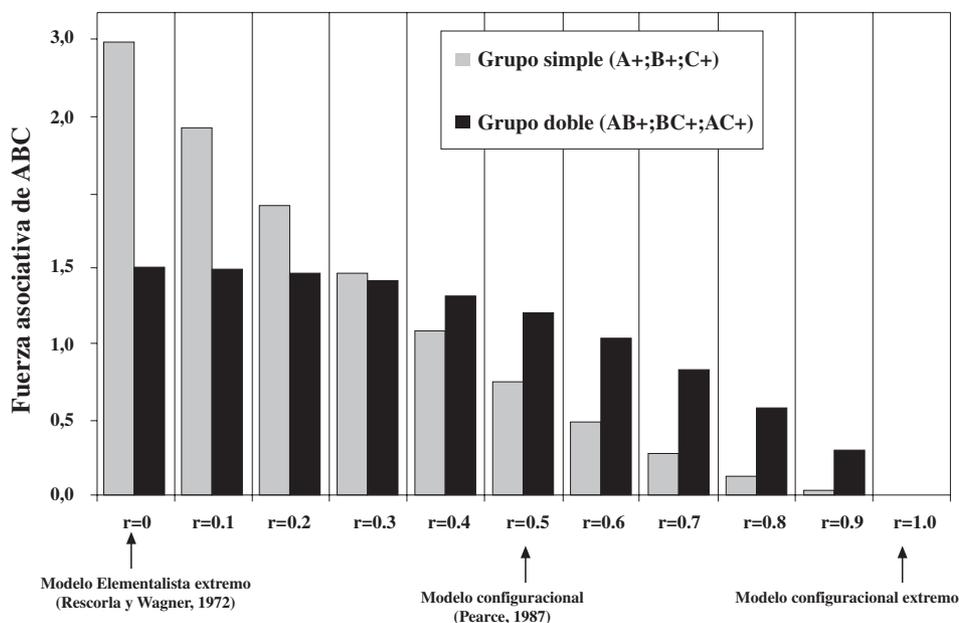


Figura 2. Predicciones del modelo REM en el caso de la sumatoria diferencial. Se presentan los valores finales para el estímulo ABC tanto en el grupo simple (A+, B+, C+) como en el grupo doble (AB+, BC+, AC+), con valores del parámetro R desde 0 hasta 1

Redhead 1997). Este panorama exige la exploración de soluciones mixtas, proporcionadas por un modelo como el REM, en el cual el foco de interés se dirige al descubrimiento de las variables que regulan esta fluctuación en la forma de procesamiento.

Discusión y conclusiones

En este artículo se ha presentado un software de simulación del modelo REM y se han elaborado reglas matemáticas explícitas acerca de su funcionamiento. Estas reglas se habían formulado en forma implícita en artículos anteriores (por ejemplo, Wagner, 2003), pero ésta es la primera vez que se presentan en forma de ecuaciones. El usuario puede utilizar tanto el simulador como las reglas para realizar sus propias simulaciones del modelo.

El modelo REM tiene la virtud de efectuar predicciones mixtas (desde elementalistas hasta configuracionales) acerca del tipo de procesamiento que exhiben los sujetos expuestos a distintas clases de combinaciones de estímulos condicionados. Justamente, esta flexibilidad de procesamiento parece ser la mejor alternativa explicativa ante los resultados empíricos contradictorios reportados por los defensores tanto de los modelos elementalistas (Rescorla y Wagner, 1972) como de los modelos configuracionales (Pearce, 1987, 1994) de condicionamiento pavloviano.

En los últimos años, el modelo REM ha logrado cierto respaldo empírico con distintas especies y paradigmas del aprendizaje asociativo (condicionamiento de parpadeo en conejos: Brandon, Vogel, y Wagner, 2000; respuesta emocional condicionada en ratas: González, Quinn, y Fanselow, 2003; aprendizaje causal en humanos: Glautier, 2004; Wheeler, Amundson, y Miller, 2006), convirtiéndose así en un nuevo referente teórico de relevancia en la psicología básica del aprendizaje asociativo.

Por su parte, el software simulador de REM permite observar las predicciones de los tres enfoques del procesamiento de estímulos condicionados compuestos: el elementalista, el configuracional y el mixto. Esta característica hace que la herramienta adquiera potencial tanto para la investigación como para la educación en el área del aprendizaje. En cuanto al primer aspecto, este programa visualiza resultados no intuitivos, como aquellos relacionados con la sumatoria diferencial (Pearce et al., 1997; Myers et al., 2001).

En lo referente a la educación, el software simulador de REM facilitaría a los estudiantes de pregrado y postgrado en las ciencias del comportamiento la asimilación de la tradición cuantitativa del condicionamiento pavloviano, que lleva décadas de desarrollo continuo (Roza et al., 2004; Vogel et al., 2004). En ese sentido, la herramienta se une a la explosión contemporánea de recursos pedagógicos denominados TIC (Tecnologías de Información y Comunicación), que ya han ingresado a la enseñanza de los diseños experimentales y aplicados en psicología (Bono, Arnau, y Blanca, 2006).

Además, el programa simulador de REM puede ser operado tanto en español como en inglés. Esta circunstancia podría llevar a la promoción de líneas de investigación básica del aprendizaje entre psicólogos hispano parlantes, debido a que la herramienta se presenta tanto en el propio idioma como en el idioma en el cual se han efectuado los desarrollos teóricos y empíricos más relevantes en este campo.

Agradecimientos

Esta investigación fue financiada por el Proyecto Regular Fondecyt n° 1060838 otorgado a Edgar H. Vogel.

Referencias

- Aydin, A., y Pearce, J.M. (1995). Summation in autoshaping with short and long-duration stimuli. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 48B, 215-234.
- Aydin, A., y Pearce, J.M. (1997). Some determinants of response summation. *Animal Learning and Behavior*, 25, 108-121.
- Bahçekapili, H.G. (1997). An evaluation of Rescorla and Wagner's elementistic model versus Pearce's configural model in discrimination learning. *Disertación doctoral no publicada*, Yale University, New Haven, Estados Unidos.
- Bono, R., Arnau, J., y Blanca, M.J. (2006). Tecnologías de la información y comunicación en la enseñanza de diseños experimentales y aplicados. *Psicothema*, 18, 646-651.
- Brandon, S.E., Vogel, E.H. y Wagner, A.R. (2000). A componential view of configural cues in generalization and discrimination in Pavlovian conditioning. *Behavioural Brain Research*, 110, 67-72.
- Briñol, P., Sierra, B., Falces, C., Becerra, A., y Froufe, M. (2000). La eficacia relativa del efecto de mera exposición y del condicionamiento clásico en la formación de preferencias. *Psicothema*, 12, 586-593.
- Carew, T., Hawkins, R.D., y Kandel, E.R. (1983). Differential classical conditioning of a defensive withdrawal reflex in *Aplysia californica*. *Science*, 219, 397-400.
- Díaz Ríos, C.A., y Ramírez Cabrera, J.A. (2005). Desarrollo de herramienta de simulación de predicciones experimentales para modelo REM de condicionamiento clásico. Seminario de título no publicado de Ingeniero Civil en Informática, Universidad Católica del Maule, Talca, Chile.
- Glautier, S. (2004). Asymmetry of generalisation decrement in causal learning. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 57B, 315-329.
- González, F., Quinn, J.J., y Fanselow, M.S. (2003). Differential effects of adding and removing components of a context on the generalization of conditional freezing. *Journal of Experimental Psychology: Animal Behavior Processes*, 29, 78-83.
- Kamin, L.J. (1969). Predictability, surprise, attention and conditioning. En B.A. Campbell y R.M. Church (eds.): *Punishment and aversive behavior*. New York: Appleton-Century-Crofts.
- Kehoe, E.J., Horne, A.J., Horne, P.S., y Macrae, M. (1994). Summation and configuration between and within sensory modalities in classical conditioning or the rabbit. *Animal Learning and Behavior*, 22, 19-26.
- Konorski, J. (1948). *Conditioned reflexes and neuron organization*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Marcos, J.L. (1997). Modulación condicionada de la respuesta incondicionada en el condicionamiento clásico humano. *Psicothema*, 9, 155-165.
- Myers, K.M., Vogel, E.H., Shin, J., y Wagner, A.R. (2001). A comparison of the Rescorla-Wagner and Pearce models in a negative patterning and a summation problem. *Animal Learning and Behavior*, 29, 36-45.
- Pavlov, I.P. (1927). *Conditioned reflexes*. Oxford: Oxford University Press.
- Pearce, J.M. (1987). A model for stimulus generalization in Pavlovian conditioning. *Psychological Review*, 94, 61-73.
- Pearce, J.M. (1994). Similarity and discrimination: A selective review and a connectionist model. *Psychological Review*, 101, 587-607.
- Pearce, J.M. (2002). Evaluation and development of a connectionist theory of configural learning. *Animal Learning and Behavior*, 30, 73-95.
- Pearce, J.M., Aydin, A., y Redhead, E.S. (1997). Configural analysis of summation in autoshaping. *Journal of Experimental Psychology: Animal Behavior Processes*, 23, 84-94.
- Pearce, J.M., y Wilson, P.N. (1991). Failure of excitatory conditioning to extinguish the influence of a conditioned inhibitor. *Journal of Experimental Psychology: Animal Behavior Processes*, 17, 519-529.
- Rescorla, R.A. (1997). Summation: Assessment of a configural theory. *Animal Learning and Behavior*, 25, 200-209.
- Rescorla, R.A., y Coldwell, S.E. (1995). Summation in autoshaping. *Animal Learning and Behavior*, 23, 314-326.
- Rescorla, R.A., y Wagner, A.R. (1972). A theory of Pavlovian conditioning: Variations in the effectiveness of reinforcement and nonreinforcement. En A.H. Black y W.F. Prokasy (eds.): *Classical conditioning II: Current theory and research* (pp. 64-99). New York: Appleton-Century-Crofts.
- Rozo, J.A. Baquero, H.T., y Pérez-Acosta, A.M. (2004). *Aprendizaje asociativo: modelos explicativos del condicionamiento clásico* (e-book). Bogotá: PSICOM y Fundación para el Avance de la Psicología.
- Trujillo, H.M., Oviedo-Joekes, E., y Vargas, C. (2006). Compensatory and mimetic conditioned responses to effects of heroin in addicted persons. *Psicothema*, 18, 19-65.
- Turkkan, J.S. (1989). Classical conditioning: The new hegemony. *Behavioral and Brain Sciences*, 12, 121-189.
- Vogel, E.H., Castro, M.A., y Saavedra, M.A. (2004). Quantitative models of Pavlovian Conditioning. *Brain Research Bulletin*, 63, 173-202.
- Vogel, E.H., Soto, F.A., Castro, M.A., y Solar, P.A. (2006). Modelos matemáticos del condicionamiento clásico: evolución y desafíos actuales. *Revista Latinoamericana de Psicología*, 38, 215-243.
- Wagner, A.R. (1971). Elementary associations. En H.H. Kendler y J.T. Spence (eds.): *Essays in neobehaviorism: A memorial volume to Kenneth W. Spence* (pp. 187-213). New York: Appleton-Century-Crofts.
- Wagner, A.R. (2003). Context-sensitive elemental theory. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 56B, 7-29.
- Wagner, A.R., y Rescorla, R.A. (1972). Inhibition in Pavlovian conditioning: Application of a theory. En R.A. Boakes y M.S. Halliday (eds.): *Inhibition and learning*. London: Academic Press.
- Wheeler, D.S., Amundson, J.C., y Miller, R.R. (2006). Generalization decrement in human contingency learning. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 59, 1212-1223.
- Whitlow, J.W., y Wagner, A.R. (1972). Negative patterning in classical conditioning: Summation of response tendencies to isolable and configural components. *Psychonomic Science*, 27, 299-301.