



Facultad de Psicología

Instituto de Estudios Humanísticos Juan Ignacio Molina

Análisis del aprendizaje asociativo humano desde la perspectiva de la primacía

Jorge Andrés Pinto Pinto

Tesis para optar al Grado de Doctor en Ciencias Humanas

Profesor Guía

Edgar Harry Vogel González

Profesores informantes

Mario Arturo Laborda Rojas

Miguel López Astorga

Ramón Daniel Castillo Guevara

Talca, Chile

2019

CONSTANCIA

La Dirección del Sistema de Bibliotecas a través de su unidad de procesos técnicos certifica que el autor del siguiente trabajo de titulación ha firmado su autorización para la reproducción en forma total o parcial e ilimitada del mismo.



Talca, 2020

Esta tesis doctoral se basa en un compendio de artículos de investigación previamente publicados o sometidos a revisión editorial en alguna revista incluida en la base de datos Scopus.

En este documento, los artículos se identificarán con números romanos de la siguiente manera:

- I.** Pinto, J.A., & Becerra, S.A. (2019). Discriminación bilateral de la respuesta condicionada de parpadeo en humanos. *Revista Argentina de Ciencias del Comportamiento*, 11(1), 9-15. doi: <http://dx.doi.org/10.32348/1852.4206.v11.n1.19886>. Scopus, CiteScoreTracker 2019= 0.08
- II.** Becerra, S.A., & Pinto, J.A. (2015). Facilitación y disminución condicionada de la respuesta incondicionada en humanos. *Avances en Psicología Latinoamericana*, 33(1), 1-14. doi: <http://dx.doi.org/10.12804/apl33.01.2015.01>. Scopus, Q4 SJR 2018=0.16
- III.** Pinto, J.A., López-Calderón, J., & Vogel, E.H. (enviado). Cue-competition in fear potentiated startle conditioning in humans. *Frontiers in Psychology*. Wos (ex ISI), Q2 JCR 2018= 2.129
- IV.** Pinto, J.A., Vogel, E.H., & Núñez, D.E. (2017). The effect of the cognitive load and outcome congruency on the learned predictiveness effect on human predictive learning. *Psicológica*, 38(2), 257-281. Recuperado de <https://www.uv.es/psicologica/articulos2.17/5PINTO.pdf>. Wos (ex ISI), Q4 JCR 2018= 0.571.

Índice

Agradecimientos.....	4
Resumen.....	5
Abstract.....	6
Introducción.....	7
Metodología.....	9
Participantes.....	9
Aparatos y procedimiento general.....	9
Resultados.....	10
1. Emergencia de la respuesta condicionada.....	10
2. Reducción de la respuesta incondicionada.....	14
3. Reducción en el reforzamiento.....	17
Discusión y conclusiones.....	23
Referencias.....	28

Agradecimientos

Agradezco a muchas personas que han contribuido directa e indirectamente a mi formación y a la elaboración de la presente tesis doctoral.

En primer lugar, agradezco a mi profesor guía Edgar Vogel el cual ha contribuido enormemente durante el transcurso de esta investigación y en la preparación de este documento. Aprecio especialmente su generosidad al compartir sus ideas y su apoyo en mi formación intelectual.

Por otro lado, agradezco a Sebastián Becerra, Daniel Núñez y Javier López por su contribución en la preparación de los artículos que sustentan esta tesis doctoral; a Yerco Uribe por su contribución en el diseño y confección de estímulos; y a Fernando Ponce quien fue una persona clave en mi incorporación y formación inicial como miembro del Laboratorio de Psicología Experimental.

Mi familia fue una fuente constante de ánimo y apoyo, y por esto les agradezco a todos. En especial, a Elizabeth por su apoyo emocional y a mi madre Ana por su apoyo en cada una de mis etapas educativas y por confiar en mis capacidades.

Resumen

La presente tesis doctoral describe los hallazgos reportados en cuatro artículos científicos que investigaron procedimientos de condicionamiento clásico (**Artículos I, II y III**) y aprendizaje causal (**Artículo IV**) en humanos. La explicación predominante del resultado de estos procedimientos es que los animales forman una asociación entre un estímulo neutro, llamado estímulo condicionado, y un estímulo biológicamente significativo, llamado estímulo incondicionado, resultando en la adquisición por parte del estímulo condicionado de la capacidad para producir una respuesta similar a aquella producida por el estímulo incondicionado. Dentro de esta perspectiva asociativa, una de las propuestas más connotadas es la teoría de la primacía de Allan Wagner, la cual postula que el resultado de la asociación no solo consiste en la adquisición de la capacidad del estímulo condicionado para generar una respuesta condicionada, sino que también para influir de manera global en el procesamiento del estímulo incondicionado. Específicamente, la teoría señala que, dependiendo de ciertas condiciones, la presencia del estímulo condicionado puede aumentar o disminuir la respuesta incondicionada en sí misma y a su vez reducir la capacidad del estímulo incondicionado para asociarse con otros potenciales estímulos condicionados. En los cuatro artículos que componen esta tesis, se examinó cada una de estas influencias asociativas del estímulo condicionado sobre el procesamiento del estímulo incondicionado. Los resultados sugieren que estas influencias interactúan de manera compleja y que tanto la investigación empírica como las teorías deben abordar necesariamente esta complejidad.

Palabras clave: Primacía; condicionamiento; aprendizaje causal; disminución condicionada; competencia de estímulos.

Abstract

The present doctoral thesis describes the findings reported in four papers that investigated procedures of classical conditioning (**papers I, II and III**) and causal learning (**paper IV**) in humans. The predominant explanation of the result of these procedures is that the animals form an association between a neutral stimulus, called conditioned stimulus, and a biologically significant stimulus, called unconditioned stimulus, resulting in the acquisition by the conditioned stimulus of the ability to produce a response similar to that produced by the unconditioned stimulus. Within this associative perspective, one of the most connoted proposals is Allan Wagner's priming theory, which postulates that the result of the association is not only the acquisition of the capacity of the conditioned stimulus to generate a conditioned response, but also to influence globally in the processing of the unconditioned stimulus. Specifically, the theory points out that, depending on certain conditions, the presence of the conditioned stimulus can increase or decrease the unconditioned response itself and in turn reduce the ability of the unconditioned stimulus to associate with other potential conditioned stimuli. In four articles that make up this thesis, each of these associative influences of the conditioned stimulus on the processing of the unconditioned stimulus was examined. The results suggest that these influences interact in a sophisticated way and that both empirical research and theories must necessarily address this complexity.

Keywords: Priming; conditioning; causal learning; conditioned diminution; cue competition.

Introducción

La presente tesis doctoral está circunscrita al ámbito del aprendizaje asociativo humano, específicamente, el condicionamiento clásico. Este tipo de aprendizaje consiste en presentaciones pareadas de un estímulo condicionado inicialmente neutral (EC) y un estímulo incondicionado (EI) capaz de producir en el organismo una respuesta incondicionada (RI). En este procedimiento, se dice que el EI actúa como un reforzador del aprendizaje que allí tiene lugar. Como resultado de este reforzamiento, el EC por sí solo comienza a provocar una respuesta condicionada (RC) topográficamente similar a la RI. En la serie de artículos que forman parte de este compilado, exploramos además otras relaciones menos obvias entre el EC y el EI.

La noción en que se basa esta investigación propone que el EC no sólo adquiere la propiedad para provocar una respuesta condicionada, sino que también para influir en la capacidad del EI para producir su efecto. Una segunda forma de influencia se relaciona con un fenómeno conocido como Disminución Condicionada de la Respuesta Incondicionada (DCRI) consistente en una reducción en la magnitud de la respuesta incondicionada cuando el EI es precedido por un EC fuertemente asociado con este. Otra forma de influencia consiste en que la presencia del EC reduce la capacidad del EI para asociarse con otros estímulos, lo cual ha sido observado en un grupo de fenómenos denominados colectivamente competencia de estímulos o aprendizaje selectivo.

Estas tres formas de influencia del EC sobre el EI son teóricamente capturadas por la noción de primacía formalizada por Wagner (1976, 1979, 1981) quien postuló que los eventos predichos o anticipados tienden a ser procesados con menor efectividad que cuando son impredecibles o inesperados. Específicamente, Wagner planteó que un EI asociativamente anticipado o primado por un EC, pierde efectividad para producir su respuesta y servir como reforzador de nuevos estímulos condicionados. Estas ideas han sido utilizadas en una familia de teorías asociativas del condicionamiento Pavloviano las cuales enfatizan que la asociación EC-EI es una función del grado

en que el EI es predicho por todos los ECs presentes en el ensayo (Mackintosh, 1975; Pearce & Hall, 1980; Rescorla & Wagner, 1972; Wagner, 1981).

El propósito de este programa de investigación fue describir las tres influencias asociativas del EC sobre el EI y analizar la interacción entre ellas. Este programa y los cuatro artículos científicos que resultaron de ello representa un esfuerzo por avanzar en la comprensión de estas influencias e ilustrar la complejidad que conlleva su estudio en humanos. En el presente informe, se optó por no reescribir los resultados de las publicaciones, sino más bien reorganizarlos y ampliarlos con datos nuevos de diseños conceptualmente análogos, con una lógica que sigue la descripción de la primacía. En la primera sección de resultados, se analizó la emergencia de la RC con los datos publicados en el **Artículo I** en el cual se demostró que un tono pareado con un soplo de aire en el ojo izquierdo produce las mismas respuestas en el ojo derecho o contralateral (RC bilateral). Basados en nuevas observaciones, se reanalizaron los datos del artículo y se extendieron sus hallazgos. En la segunda sección se examinó la reducción de la RI con los datos publicados en el **Artículo II** donde se demostró que el EC influye en la magnitud de la RI, aumentándola o disminuyéndola, dependiendo de la intensidad del EI. Además, se reveló que la tendencia aumentativa tiene dos orígenes, uno específico y otro generalizado ya que también ocurrió en el ojo contralateral (datos no publicados). Se especula que esto último es consistente con la demostración de una tendencia emotiva capaz de potenciar otras respuestas sensorialmente distintas (**Artículo III**). En la tercera sección se examinó la reducción en el reforzamiento con los datos del **Artículo III** donde se muestra que el aprendizaje selectivo depende de la modalidad sensorial. Además, se presenta nueva información que sugiere la intromisión de procesos inferenciales en la selectividad, la cual es consistente con los datos obtenidos en el **Artículo IV** con un procedimiento de aprendizaje causal. Finalmente, se discute el conjunto de hallazgos presentados en base a una versión cuantitativa de la primacía, el modelo SOP de Allan Wagner (1981) y sus subsecuentes elaboraciones (Vogel, Ponce & Wagner, 2018).

Metodología

Participantes. Un total de 360 adultos cuyas edades fluctuaron entre los 18 y 30 años participaron en los distintos experimentos de este programa de investigación. Éstos fueron retribuidos por su participación a través de un regalo o pago. Del total de participantes, los datos de 274 han sido reportados en la serie de artículos mientras que la información de los 86 participantes restantes no ha sido publicada. Todas las manipulaciones experimentales se realizaron en el laboratorio de Psicología de la Universidad de Talca y el contenido del consentimiento informado y los procedimientos experimentales fueron aprobados por el Comité Ético Científico (CEC) de la Universidad de Talca.

Aparatos y procedimiento general. El programa se basó en 2 paradigmas de aprendizaje en humanos: condicionamiento clásico (**Artículos I, II y III**) y aprendizaje causal (**Artículo IV**). En el primero, los participantes permanecieron sentados en una cámara experimental aislada donde recibieron los estímulos y se registraron sus respuestas. Los participantes fueron expuestos a ensayos donde uno o varios estímulos condicionados (designados con letras mayúsculas de A-Z) fueron pareados con un estímulo incondicionado (designado como +) o no pareados con este (designado como -). Los ensayos son la unidad mínima en cada experimento. Los estímulos condicionados fueron auditivos, visuales y vibrotáctiles y los estímulos incondicionados fueron un soplido de aire aplicado en la piel de los participantes o la estimulación de un músculo superciliar por medio de un pulso eléctrico. La variable dependiente de interés fue la amplitud de la respuesta de parpadeo la cual se produce de manera refleja tanto al pulso eléctrico como al soplo de aire.

El paradigma de aprendizaje causal consistió en una situación experimental en la cual los participantes se sientan frente a un computador y se les instruye que deben establecer asociaciones o relaciones de causalidad entre estímulos y una determinada consecuencia en un juego de computador. El aprendizaje causal es formalmente similar al condicionamiento clásico, ya que las

personas aprenden que uno o varios estímulos o ECs causan o predicen una determinada consecuencia o EI. Por ejemplo, establecer asociaciones entre imágenes de símbolos con la aparición de determinados sonidos. En este caso, la RC es equivalente al juicio que emite la persona acerca del nivel de predictibilidad de los estímulos. En los experimentos se examinó el porcentaje de aciertos en el entrenamiento y los juicios causales asignados a los estímulos en la prueba.

Resultados

1. Emergencia de la respuesta condicionada

La primera forma de influencia del EC sobre el EI consiste en que el primero adquiere la capacidad para generar una respuesta anticipatoria a la aparición del EI o respuesta condicionada (RC). Esta respuesta guarda algún tipo de relación con la respuesta incondicionada o RI la cual puede manifestarse de diversas formas. El resultado más típico es que la RC imita a la RI. Esto ha sido observado en numerosos sistemas de respuesta, tales como la salivación (Pavlov, 1927), el parpadeo reflejo (Gormezano, Schneiderman, Deux & Fuentes, 1962; Hilgard & Campbell, 1936), reacciones de miedo (Estes & Skinner, 1941) y conducta alimenticia (Brown & Jenkins, 1968; García & Koelling, 1966).

Para demostrar la emergencia de una RC genuina, esta debe cumplir con una serie de requisitos relacionados con manipulaciones de tipo control. Uno de ellos es demostrar que la RC ocurre como una respuesta a la presentación del EC que participó de la asociación y no de otro estímulo. Aunque es esperable que exista cierto grado de generalización entre estímulos similares, se requiere un cierto grado de especificidad acerca del estímulo condicionado que provoca la respuesta. Por otra parte, también se espera que la RC controlada por el EC tenga un cierto grado de relación o similitud con la respuesta provocada por el EI en cuestión y no con otro. Nuevamente, aunque es natural aceptar que la RC guarde relación con las respuestas ocasionadas por distintos EIs, es deseable que la RC guarde una relación más estrecha con la RI provocada por el EI utilizado

durante el condicionamiento. En el **Artículo I** se examinaron esos aspectos al evaluar si la RC que se desarrolla a un estímulo es específica al estímulo reforzado y a la localización del EI. Para ello, se realizó un entrenamiento discriminativo donde un estímulo condicionado A fue pareado con un soplo de aire en un ojo (por ejemplo, el ojo izquierdo) mientras que otro estímulo B se presentó sin el EI. Estas especificidades se evaluaron comparando la RC en A y B en ambos ojos. Se esperaba que, de haber condicionamiento y la especificidad mencionada, las personas emitieran una RC solo en el ojo estimulado en presencia del estímulo A y ninguna RC en presencia de B (e.g., Brandon, Betts & Wagner, 1994; Rescorla, 1967). Como se aprecia en el panel izquierdo de la Figura 1, los resultados publicados en el artículo arrojaron resultados parcialmente satisfactorios por cuanto las respuestas condicionadas de parpadeo al estímulo A fueron significativamente mayores en amplitud que al estímulo B. Sin embargo, las respuestas condicionadas en presencia de A ocurrieron en ambos ojos. Una explicación plausible de esta ausencia de especificidad de la localización del EI es que esta no se deba a una asociación generalizada entre el EC y el EI sino más bien a una posible representación bilateral de las vías motoras involucradas en el parpadeo de ambos ojos. Como se aprecia en el panel derecho de la figura, esto es parcialmente cierto ya que la primera presentación del estímulo, cuando aún no se desarrolla condicionamiento, muestra que, si bien la estimulación de un ojo produce una respuesta incondicionada en ambos, también es claro que esta respuesta es mayor en el ojo estimulado (ipsilateral).

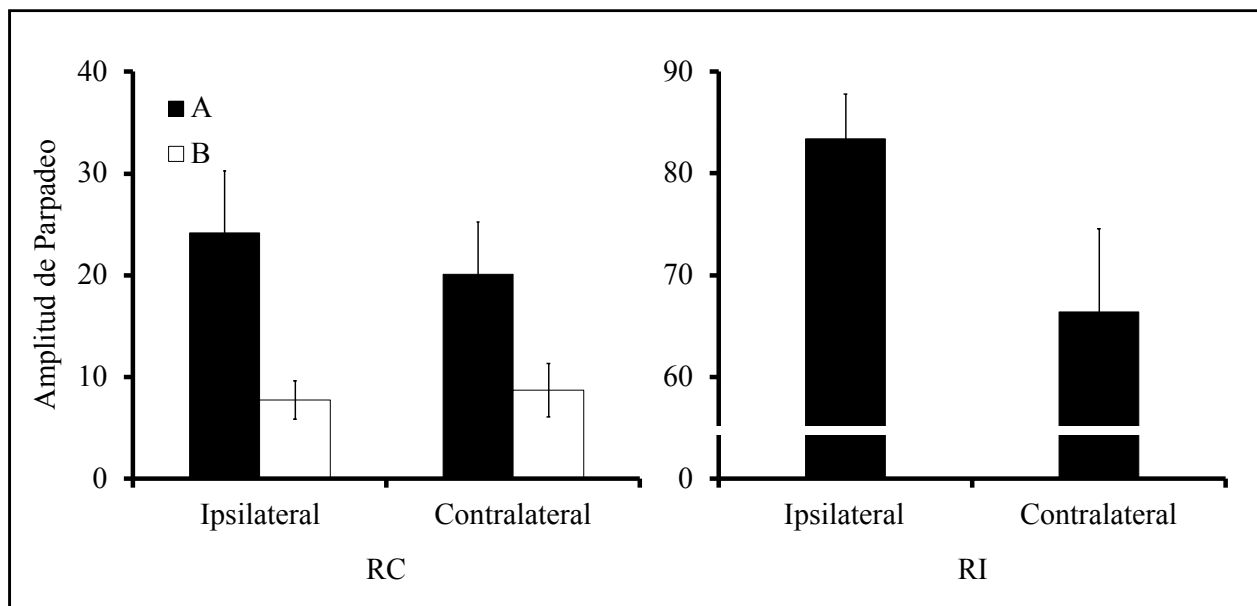


Figura 1. Amplitud promedio de la RC (panel izquierdo) y la RI (panel derecho) según el estímulo reforzado (A vs. B) y la localización del EI (ipsilateral y contralateral) para el total de los ensayos del entrenamiento discriminativo en el caso de la RC (Total: 66 ensayos; 32 ensayos para A y 32 ensayos para B) y para el primer ensayo de A en el caso de la RI. Las barras de error representan el error estándar de la media.

La frecuencia y amplitud de la RC son un claro indicador de la asociación establecida entre el EC y el EI, sin embargo también se ha estudiado abundantemente que la temporalidad es decir, el momento en que ocurre la RC no es trivial. Por ejemplo, en el caso del parpadeo se ha señalado que una RC bien desarrollada o muy asociada debería ocurrir muy cercana a la presentación del EI (Martin & Levey, 1965). Esto sugiere que la RC y la RI podrían interactuar ya sea interfiriéndose o fusionándose. Este fenómeno se exploró con más detalle en un procedimiento de condicionamiento mucho más simple en el cual 8 participantes recolectados independientemente (datos no publicados) fueron expuestos a presentaciones pareadas de un tono con un soplo de aire. La Figura 2 presenta la topografía de las respuestas de parpadeo de estos participantes para las primeras 3 RCs donde el condicionamiento todavía es débil, y las últimas 3 RCs, donde se espera que el condicionamiento sea fuerte.

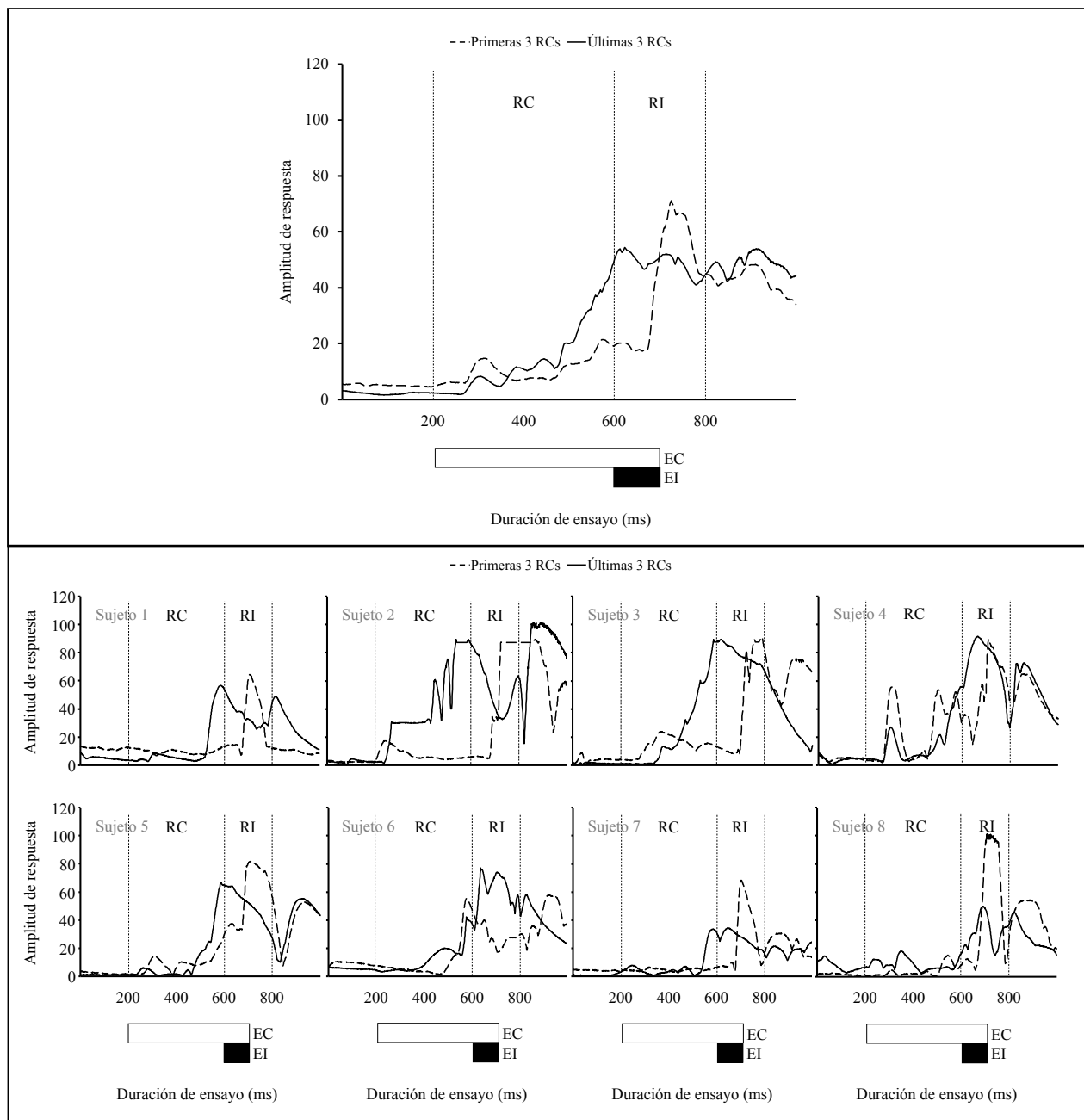


Figura 2. Topografía del promedio de las primeras 3 RCs y las últimas 3 RCs para el total de los sujetos (panel superior) y para cada uno por separado (panel inferior). Los rectángulos con líneas horizontales y de color negro representan la duración del EC (500 ms) y el EI (100 ms) respectivamente.

El gráfico del panel superior de la figura presenta la amplitud media de los sujetos. Se aprecia en una fase temprana del condicionamiento (primeras 3 RCs), la presencia de una respuesta de baja amplitud que alcanza su valor máximo antes de la aparición del EI en el período

correspondiente a la RC. Además, en el período de la RI, es fácilmente distinguible la presencia de una respuesta de gran amplitud. Esta topografía de la respuesta claramente cambia cuando nos concentramos en la fase tardía del condicionamiento (últimas 3 RCs). Allí se aprecia la aparición de una RC en su período que invade el período de la RI y se fusiona con esta última. A su vez en el mismo tramo temporal donde se observa una RI de gran amplitud en una fase inicial del condicionamiento, la RI está disminuida en una fase tardía. En el panel inferior de la figura, se presentan los gráficos de cada uno de los ocho sujetos en los cuales se puede apreciar que la tendencia descrita en el gráfico global es más o menos general a lo largo de los sujetos.

En resumen, en esta sección se demostró que, con nuestros procedimientos, se obtiene evidencia del clásico fenómeno de condicionamiento Pavloviano en humanos, donde el EC influye en el EI generando una respuesta condicionada (RC) similar a la respuesta incondicionada (RI). La RC se caracteriza por ser específica del estímulo entrenado (A>B) e inespecífica del ojo estimulado (ojo ipsilateral=ojo contralateral). A diferencia de la RC, la RI es parcialmente específica al ojo estimulado (ojo ipsilateral>ojo contralateral). Además, se demostró que en una fase tardía del condicionamiento, la RC aumenta en amplitud y perdura hasta un período posterior al inicio del EI donde se fusiona con una RI disminuida.

2. Reducción de la respuesta incondicionada

La segunda forma de influencia se relaciona con un fenómeno conocido como Disminución Condicionada de la Respuesta Incondicionada (DCRI; Donegan, 1981; Kimble & Ost, 1961). Nótese en la Figura 2, que en una fase tardía del condicionamiento la RI tiene una amplitud mucho menor que al inicio, lo cual podría considerarse como un indicio de DCRI. Sin embargo, dado que en esos datos el EC siempre fue seguido por el EI, no es posible establecer si esa disminución es consecuencia del condicionamiento o de una habituación al EI provocada por la mera repetición de este. Para descartar esto último, en el **Artículo II** se utilizó un diseño similar al propuesto por

Donegan (1981) consistente en una fase de entrenamiento discriminativo (i.e., A+B-) seguida por una fase de prueba en la cual se evaluó la amplitud de la RI en presencia de A y B. El interés fue observar qué impacto tiene la RC adquirida por A en la RI. Los resultados revelaron que aparentemente un EC fuertemente asociado con el EI tiene un efecto doble, por un lado aumenta la RI lo cual es evidente en intensidades bajas del EI y por otro lado disminuye la RI lo cual es evidente en intensidades altas del EI. Si bien la disminución no fue estadísticamente significativa, está en la misma dirección que lo obtenido por Donegan (1981) con el parpadeo en conejos.

A la luz del análisis realizado en la sección anterior, resulta interesante ampliar las conclusiones del **Artículo II** en dos aspectos. El primero consiste en reanalizar los datos solo para aquellos participantes que mostraron condicionamiento y el segundo implica observar si el impacto que tiene la RC sobre la RI también es contralateral, es decir, si la bilateralidad observada en la RC también ocurre con la RI. El panel izquierdo de la Figura 3 muestra los mismos resultados del **Artículo II** pero solo del grupo de sujetos que mostró condicionamiento (n=9).

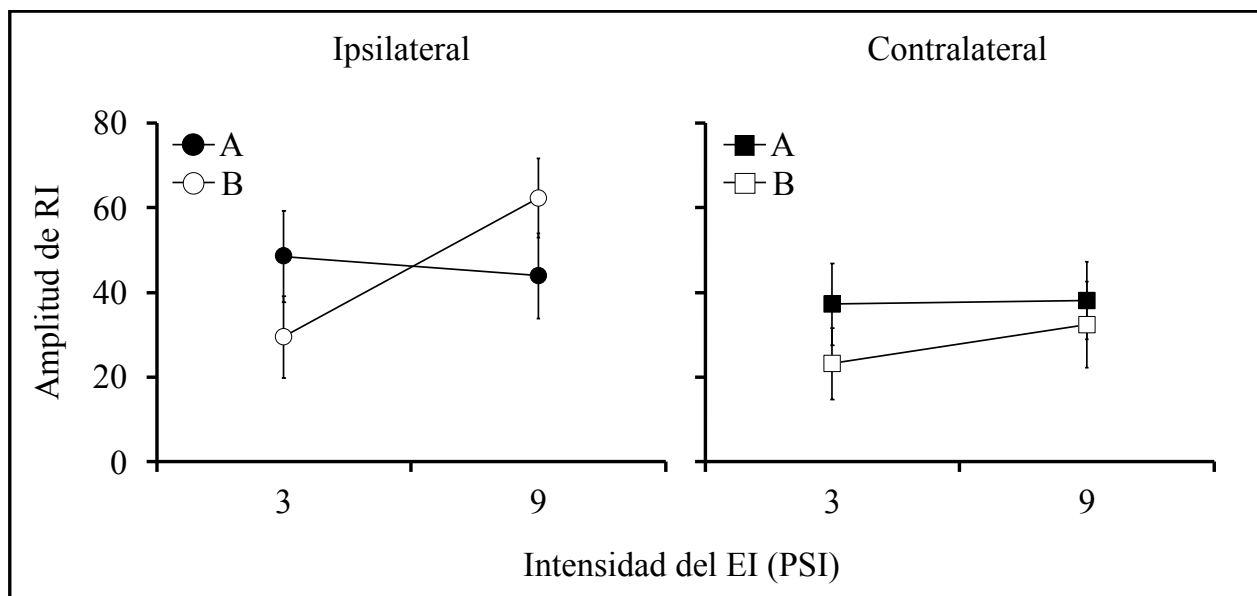


Figura 3. Amplitud promedio de la RI en una prueba con los estímulos A y B pareados con un soplo de aire (EI) de baja (3 PSI) y alta (9 PSI) intensidad tanto para el ojo que recibió el EI (ipsilateral; panel izquierdo) como para el ojo que no lo recibió (contralateral; panel derecho). Las barras de error representan el error estándar de la media.

Se aprecia en la figura una menor amplitud de la RI al estímulo A en comparación a B cuando son probados con un EI de alta intensidad (9 PSI), mientras que se observa lo contrario cuando son probados con un EI de baja intensidad (3 PSI). Consistente con estas observaciones, un ANOVA de 2(Estímulo: A, B) X 2(Intensidad: baja, alta) arrojó un efecto principal de intensidad, $F(1, 8) = 17.416, p = .003, \eta^2 \text{ parcial} = .685$ e interacción estímulo x intensidad, $F(1, 8) = 11.507, p = .009, \eta^2 \text{ parcial} = .590$. No hubo un efecto estímulo, $F(1, 8) < 1$. El efecto intensidad del EI indica que la respuesta a una prueba con una alta intensidad es mayor que a una prueba con una baja intensidad. Dada la existencia de interacción, se analizaron los efectos simples del factor estímulo en cada uno de los niveles de la intensidad del EI y se confirmó que, con una baja intensidad, existe una respuesta significativamente mayor al estímulo A que al estímulo B ($p = .024$) y con una alta intensidad, existe una respuesta marginalmente menor al estímulo A que B ($p = .060$). Del mismo modo que Donegan (1981) se demostró la existencia de dos formas opuestas en las cuales el EC influyó en la magnitud de la RI las cuales pueden ser observadas dependiendo de la intensidad del EI.

Por otro lado, nótese en la Figura 1 que la RI mostró evidencia parcial de lateralización. Esto sugiere que la DCRI podría ser observada en mayor magnitud en el ojo que recibió el EI que al ojo contrario. Con el fin de explorar esta posibilidad, en este informe se presentan las respuestas al ojo contralateral del grupo condicionado. En el panel derecho de la Figura 3 se aprecia que con una intensidad baja del EI (3 PSI), el estímulo A presenta una mayor amplitud de la RI que al estímulo B. Por el contrario, con una intensidad alta del EI (9 PSI) no se observan diferencias entre los estímulos. Si bien el ANOVA estímulo x intensidad no reveló efectos significativos ($ps > 0.093$), los efectos simples del factor estímulo en cada uno de los niveles de la intensidad arrojó una respuesta marginalmente mayor al estímulo A en comparación al estímulo B ($p = .057$) cuando ambos fueron probados con un EI de baja intensidad.

En conclusión, estos hallazgos sugieren por una parte, que la tendencia diminutiva es específica al ojo estimulado y por otra, que la tendencia aumentativa es generalizada ya que también ocurrió en el ojo contralateral a la localización del EI. Esta transferencia de la respuesta del ojo ipsilateral al contralateral no puede ser explicada por el hecho de que la respuesta de parpadeo es bilateral, ya que si este fuese el caso, ambas tendencias deberían ser observadas en el ojo contralateral. La hipótesis más plausible es que esta transferencia sea producto de una respuesta emocional inespecífica que potencia una amplia gama de conductas defensivas durante los episodios de condicionamiento. Este tipo de fenómenos efectivamente se han demostrado a través de un procedimiento denominado sobresalto potenciado por el miedo (Brown, Kalish & Farber, 1951) el cual se replicó en el **Artículo III**. Específicamente, los participantes fueron entrenados en una tarea de discriminación en la cual un estímulo A fue pareado con un breve pulso eléctrico aplicado en la muñeca (EI), mientras que otro estímulo B se presentó sin el EI (i.e., A+B-). En una prueba posterior, se examinó la respuesta de sobresalto a un soplo de aire aplicado en el rostro de los participantes presentado solo o en la presencia de cada uno de los estímulos entrenados. Los resultados arrojaron una mayor respuesta de sobresalto al soplo de aire en la presencia de A que en la presencia de B y que en la ausencia de cualquier estímulo.

En resumen, consistente con estudios previos (e.g., Grillon & Davis, 1997; Lissek et al., 2008) se observó que un EC pareado con un choque eléctrico en la muñeca es capaz de potenciar la respuesta de sobresalto a otro estímulo aplicado en otra parte del cuerpo. Esto sugiere, con nuestros procedimientos, que un EC puede adquirir propiedades emocionales para potenciar las respuestas a otros estímulos sensorialmente distintos (por ejemplo, el otro ojo).

3. Reducción en el reforzamiento

La tercera influencia asociativa examinada en el **Artículo III** se relaciona con un grupo de fenómenos denominados colectivamente competencia de estímulos o aprendizaje selectivo. En

estos fenómenos, se demuestra que no todos los estímulos condicionados que están presentes cuando ocurre el EI se asocian con este, sino que solo aquellos que tienen un valor informacional. Un ejemplo de ello es el bloqueo (Kamin, 1969) donde un EC que ha desarrollado una asociación con el EI (A+), “bloquea” el aprendizaje de cualquier otro EC en una fase posterior en la que ambos se presentan juntos y seguidos por el EI (AX+). Aparentemente, el bloqueo ocurriría porque X es redundante, es decir, no aporta información nueva a la predictibilidad del EI.

En el **Artículo III** (Experimento 2) se examinó la competencia de estímulos en un procedimiento de sobresalto potenciado por el miedo. Los participantes recibieron un entrenamiento de discriminación en el cual un estímulo A fue pareado con un pulso eléctrico en la muñeca, mientras que otro estímulo B, no fue pareado con este (i.e., A+B-). Posteriormente, los estímulos A y B fueron presentados en conjunto con estímulos auditivos nuevos X e Y los que además fueron reforzados (i.e., AX+BY+). En la prueba, se encontró evidencia de competencia solamente en aquellos participantes en los cuales A y B fueron un estímulo visual y vibrotáctil, respectivamente. En este subgrupo, la respuesta al soplo de aire en presencia del estímulo redundante X fue significativamente menor que en la presencia de Y, y no difiere de la respuesta al soplo de aire solo, indicando que X fue bloqueado por A. Se especuló que la ausencia de un efecto en el subgrupo en el cual A fue vibrotáctil y B fue visual podría ser el resultado de una inesperada generalización entre los estímulos vibrotáctiles y auditivos. Es posible que nuestro estímulo vibrotáctil comparta un componente común con los estímulos auditivos y que por ello haya adquirido suficiente miedo para bloquear tanto a X como a Y. Por supuesto, esto es meramente especulativo y se deben realizar más investigaciones para aclarar este problema.

Esta dificultad en observar este tipo de aprendizaje selectivo es consistente con una serie de fracasos de replicación del bloqueo, los cuales pueden ser divididos en 2 categorías. La primera se refiere a la irregularidad en su demostración en animales-no humanos. Por ejemplo, mientras que Maes et al. (2016) informaron varios fracasos en la demostración del bloqueo en ratas, Fam,

Westbrook y Holmes (2017), con procedimientos muy similares, encontraron lo contrario. Si bien no existe un estudio decisivo, aparentemente y considerando el sinnúmero de condiciones experimentales, es muy probable que el bloqueo sea un fenómeno dependiente de ciertas características asociadas a los estímulos (Haselgrove, 2010; Maes et al., 2018; Sanderson, Jones & Austen, 2016; Soto, 2018; Vogel & Wagner, 2017).

La segunda categoría se refiere a la fragilidad del bloqueo en humanos. Pese a que algunos estudios han demostrado evidencia de bloqueo débil (e.g., Martin & Levey, 1991), otros han fracasado en ver este efecto (e.g., Lovibond, Siddle & Bond, 1988). Esto es consistente con la dificultad que se tiene para observar el fenómeno en paradigmas de aprendizaje causal donde no hay una inferencia lógica que necesariamente lo produzca (Lovibond, Been, Mitchell, Bouton & Frohardt, 2003). Por ejemplo, si una persona aprende que el consumo de “leche” por sí solo causa una molestia estomacal (A+) y luego aprende que el consumo de dos alimentos juntos, “leche” y “café” también lo causan (AX+), la conclusión lógica con respecto al consumo de café (X) es incierta y no necesariamente que no causa el dolor estomacal o bloqueo. Asimismo, otra complicación es que el hallazgo de bloqueo (i.e. A+AX+) también se ha encontrado en humanos cuando el orden de las fases se invierte (i.e. AX+A+). Este segundo caso que podría ser llamado bloqueo retroactivo para diferenciarlo del bloqueo proactivo, no puede ser explicado por un déficit en el aprendizaje de X, ya que la asociación adquirida por A no podría afectar retroactivamente a X. Así, el fracaso en obtener bloqueo en el aprendizaje causal y condicionamiento y las observaciones de bloqueo retroactivo han sido considerados como una prueba indirecta que en los humanos solo se darían aquellos fenómenos de competencia que pueden ser deducibles lógicamente, es decir, que dependen de procesos controlados (Mitchell, De Houwer & Lovibond, 2009).

Una manera de explorar la participación de los procesos controlados en la selectividad en humanos es a través de la carga cognitiva. El supuesto es que los procesos automáticos, a diferencia

de los controlados, requieren de muy poco esfuerzo cognitivo y que como tales, serían relativamente inmunes a manipulaciones de la carga cognitiva tales como, por ejemplo, pedir a los participantes que realicen una segunda tarea en paralelo con el entrenamiento de condicionamiento. Esto lo examinamos en un experimento (datos no publicados) donde cuatro grupos de participantes fueron expuestos a las mismas fases descritas anteriormente, excepto que en el primer grupo llamado “proactivo” los participantes recibieron primero la fase de entrenamiento simple (i.e., A+B-) seguida por la fase de entrenamiento compuesto (i.e., AX+ BY+); en el segundo grupo llamado “retroactivo” los participantes recibieron las fases en el orden opuesto (es decir, entrenamiento compuesto y luego el entrenamiento simple). Otros dos grupos de participantes (grupos proactivo carga y retroactivo carga) recibieron el mismo tratamiento, excepto que tuvieron que realizar adicionalmente una tarea de coordinación viso-motora durante toda la sesión (carga cognitiva). El resto del procedimiento fue idéntico al Experimento 2 del **Artículo III**.

La Figura 4 presenta los resultados de este experimento expresados como un índice de sobresalto potenciado el cual se obtuvo dividiendo la amplitud de sobresalto ocasionado por un soplo de aire en el rostro en presencia del estímulo en cuestión (A o B) por la amplitud de sobresalto ocasionada por la presentación del aire por sí solo. Si la respuesta al soplo de aire en presencia de los estímulos es superior a 0.5, esto significa que se responde más al soplo de aire en presencia de los estímulos que al soplo de aire solo y que, por lo tanto, ha ocurrido condicionamiento. La figura indica que con excepción del grupo retroactivo-carga, la respuesta al soplo de aire en presencia de Y es superior a 0.5, lo que revela condicionamiento de miedo; mientras que X no difiere de 0.5 en ningún grupo lo cual sugiere que no hubo condicionamiento a este estímulo. Finalmente, salvo el grupo retroactivo carga, la respuesta en presencia de Y es mayor que en presencia de X. Estos datos indican que el estímulo X fue bloqueado por el estímulo A en ambas condiciones proactivas y en la condición retroactiva sin carga. Esto sugiere que la competencia de estímulos ocurre independientemente del orden y dado que la competencia retroactiva es más susceptible a la carga

cognitiva, se concluye que la participación de los procesos controlados es mucho más decisiva en esta que en la competencia proactiva, al igual que en otras preparaciones experimentales (e.g., juicios causales, Vogel, Glynn & Wagner, 2015). Sin embargo, también es plausible considerar que la ausencia de selectividad en la condición retroactivo-carga se deba a que cada uno de los estímulos no adquirieron condicionamiento. Finalmente, debe consignarse la naturaleza exploratoria de estos datos, puesto que con el tamaño muestral utilizado ($n= 78$), no todos los efectos mencionados alcanzaron la significancia estadística. Mas estudios permitirían dilucidar este aspecto.

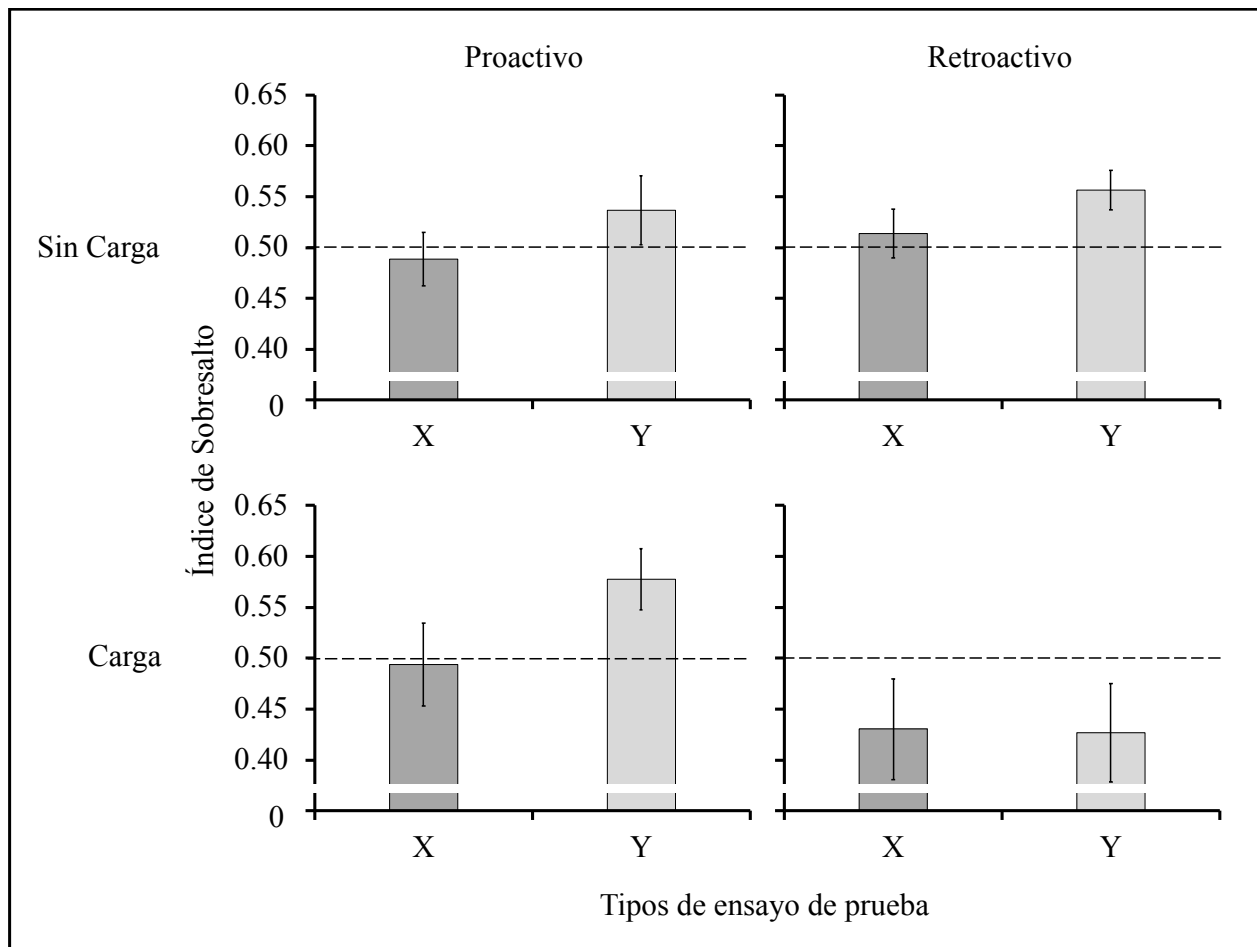


Figura 4. Índice de sobresalto promedio para los tipos de ensayos de prueba X e Y según el orden (proactivo vs., retroactivo) y la carga cognitiva (carga vs., sin carga). Las barras de error representan el error estándar de la media.

En síntesis, estos datos sugieren que la selectividad en humanos puede ocurrir tanto a través de procesos asociativos como controlados. La vía asociativa produce selectividad en un orden proactivo y cuando los estímulos son perceptivamente separables. Por otra parte, la vía controlada parece predominar en un orden retroactivo y en condiciones de mínima carga cognitiva. En estos casos, dado que la selectividad no es una conclusión necesariamente correcta, es probable que el efecto de los procesos controlados sea mucho más marcado en el aprendizaje causal. El impacto o la intromisión de los procesos controlados puede llegar incluso a oscurecer los procesos asociativos. En esta línea de razonamiento se encuentra un fenómeno que se ha examinado exhaustivamente en el mundo del aprendizaje causal y que se trabajó en este programa de investigación denominado predictibilidad aprendida.

En el **Artículo IV** se estudió el efecto de la predictibilidad aprendida o el hallazgo de que cuando las personas aprenden que algunos estímulos son predictores fiables de una consecuencia en una primera fase del entrenamiento, muestran un sesgo de aprendizaje a favor de estos en una segunda fase que implica nuevas consecuencias, a pesar de que todos los estímulos son igualmente fiables (Le Pelley & McLaren, 2003). El artículo examinó el efecto de dos variables sobre la predictibilidad. Una variable fue la congruencia en la valencia afectiva de las consecuencias de la fase 1 y 2 y la otra variable fue la carga cognitiva. En la condición congruente, los participantes recibieron sonidos de la misma valencia afectiva, por ejemplo, agradables-agradables en la fase 1 y 2 respectivamente, y en la condición incongruente recibieron sonidos de distinta valencia, por ejemplo, agradables-desagradables en la fase 1 y 2 respectivamente. Se esperaba observar el efecto en la condición congruente puesto que es más probable que los participantes infieran que el valor predictivo de los estímulos se transfiere de una fase a otra cuando son acompañados por consecuencias afectivamente congruentes. Además, si esta influencia tiene un origen inferencial, la carga cognitiva debería tener efectos opuestos en cada condición. Por ello, la mitad de los participantes en cada condición recibió una tarea de carga cognitiva consistente en la memorización

de dígitos (Vogel et al., 2015). Los resultados demostraron que la carga cognitiva puede facilitar o interrumpir la predictibilidad dependiendo de si las consecuencias de la fase 1 fueron afectivamente congruentes o incongruentes con las consecuencias de la fase 2. Estos hallazgos sugieren que los procesos asociativos e inferenciales "cooperan" para producir la predictibilidad en la condición congruente y "compiten" en la condición incongruente, ya que la carga cognitiva reduce la probabilidad de observar el fenómeno en la condición congruente y la aumenta en la condición incongruente. En principio, estos datos son consistentes con la hipótesis de que en el aprendizaje causal operan los dos procesos.

Discusión y conclusiones

Las influencias asociativas estudiadas a lo largo de los cuatro artículos y las complejidades que surgen para su estudio, especialmente en humanos, lleva a la conclusión de que la investigación de los fenómenos del condicionamiento es mucho más difícil de lo que se podría intuir a partir de la simple asociación entre un par de estímulos. Los resultados confirman la hipótesis que un EC asociado fuertemente con un EI influye en su procesamiento a través de tres formas. La primera consiste en el desarrollo de una respuesta condicionada específica al estímulo entrenado e inespecífica al ojo estimulado (**Artículo I**). La segunda consiste en un aumento o una disminución en la magnitud de la RI que puede observarse con un EI de baja y alta intensidad, respectivamente (**Artículo II**). Según nuestros datos, a diferencia de la tendencia diminutiva, la aumentativa tendría un origen específico y otro generalizado ya que también ocurre en el ojo no estimulado. Posiblemente, la naturaleza de esa generalización es la adquisición de una respuesta condicionada emotiva que interactúa con una respuesta condicionada sensorial de parpadeo (**Artículo III**). La tercera influencia que examinamos consiste en una reducción en la capacidad del EI para reforzar a otros estímulos lo cual produce que estos compitan por asociarse con el EI (**Artículo III**). La evidencia recopilada en el transcurso de la presente investigación indica que esta competencia

puede ocurrir a través de una vía asociativa o controlada dependiendo de la naturaleza de los estímulos condicionados e incondicionados y de la carga cognitiva (**Artículo IV**).

Esta complejidad no siempre se tiene en cuenta al diseñar estudios y teorías. Esto representa un desafío para las teorías del condicionamiento tales como, por ejemplo, el modelo SOP de Allan Wagner (1981) el cual fue elaborado para proveer una versión computacional de la noción de primacía (Wagner, 1976, 1979). De acuerdo con el modelo, tanto el EC como el EI activan un par de unidades de procesamiento: una unidad primaria seguida por una unidad secundaria. Una vez que se presenta el estímulo correspondiente y durante cada momento de su duración, la unidad primaria es activada, lo cual provoca la respuesta y la activación de la unidad secundaria respectiva. Una vez que es activada, la unidad secundaria inhibe recurrentemente a la primaria, dejándola temporalmente menos susceptible de ser activada por el estímulo. Con el paso del tiempo, la actividad secundaria decae, liberándose a la unidad primaria de la inhibición. El modelo asume que el EC y el EI desarrollan una asociación excitatoria en la medida que el grado de activación simultánea de sus respectivas unidades primarias es sustancialmente más grande que el grado de activación primaria del EC coincidente con la activación secundaria del EI (inhibitoria). Si la asociación que se forma entre el EC y el EI es excitatoria, entonces el EC adquiere la capacidad, por medio de su actividad primaria, de generar asociativamente actividad secundaria en el EI, aún cuando este último no se encuentre presente.

Con este mecanismo, el modelo SOP explicaría la primera influencia asociativa del EC sobre el EI consistente en la emergencia de una respuesta condicionada (RC), como una función del grado de actividad primaria del EC y de la fuerza de la conexión entre esta unidad y la actividad secundaria del EI. A su vez, dado que la actividad secundaria del EI inhibe recurrentemente su propia actividad primaria, la presencia del EC también produce la segunda influencia asociativa consistente en una disminución en la respuesta incondicionada (RI). Por lo tanto, el EC controla dos tendencias que influyen en la magnitud de la RI, una aumentativa y otra diminutiva, las cuales

pueden ser observadas dependiendo de la intensidad del EI. Específicamente, cuando los estímulos condicionados son probados con un EI de menor intensidad a la utilizada durante el entrenamiento, la magnitud de la RC es mayor en relación con la RI y dado que el parpadeo condicionado se caracteriza por ser anticipatorio e imitar a la RI, termina por sumarse con esta produciendo una facilitación o aumento en la magnitud de la RI. Por el contrario, cuando son probados con un EI de mayor intensidad, pero idéntico al utilizado durante el entrenamiento, la magnitud de la RC es menor en relación con la RI y como consecuencia se observa una disminución en la magnitud de la RI.

Por otra parte, SOP describe correctamente el aprendizaje selectivo como una disminución en la actividad primaria del EI a medida que progresa el condicionamiento lo cual hace cada vez menos posible el desarrollo de aprendizaje (excitatorio). Esto explicaría que un EI asociado previamente con un determinado estímulo, pierde efectividad como reforzador de otro EC, tal como ocurre en los fenómenos como el bloqueo. Por ejemplo, el bloqueo resultaría del hecho de que el pareamiento previo de un EC con el EI (A+) provoca que A adquiera la capacidad de provocar actividad secundaria del EI. Así cuando luego se presenta conjuntamente A y X pareados con el EI (AX+), X recibe menos excitación (debido a la reducción en la actividad primaria del EI causada por la actividad secundaria del mismo) y más inhibición (debido a la actividad secundaria del EI provocada por A) que una condición control donde no existe tal influencia de A.

Si bien el modelo SOP es capaz de explicar las tres influencias asociativas por separado y de manera general, en su versión más simple no puede dar cuenta de las interacciones descritas en el presente documento. Wagner y sus colaboradores han desarrollado extensiones del modelo para poder abarcar toda la complejidad de estos fenómenos (Vogel et al., 2018). Por ejemplo, se ha planteado que el modelo debe considerar que el EI tenga una unidad de procesamiento sensorial y otra emotiva para poder explicar que un mismo EI es capaz de provocar una respuesta de parpadeo y, al mismo tiempo, una respuesta emocional de miedo (Wagner & Brandon, 1989; Wagner &

Vogel, 2010). Además, se ha incorporado una representación componencial del EC para explicar el por que la magnitud máxima de la RC ocurre en el locus del EI (Vogel, Brandon & Wagner, 2003). También se han introducido elementos contextuales para explicar que la pérdida de efectividad de un estímulo en función de su predictibilidad es producto de la primacía que el contexto ejerce sobre el estímulo tal como ocurre en la predictibilidad aprendida (Vogel et al., 2018). Sin embargo, estos hallazgos sumados a las numerosas observaciones realizadas por otros autores claramente indican que en los seres humanos estas tareas también pueden ser resueltas por procesos inferenciales y forzar al modelo a explicarlos no parece razonable, puesto que su objetivo es solamente abarcar procesos automáticos.

Pese a los avances realizados a nivel teórico, aún quedan incógnitas por resolver desde un punto de vista empírico. Específicamente, futuras investigaciones deberían incluir rutinariamente en sus protocolos de condicionamiento, mediciones simultáneas de respuestas sensoriales y emocionales tales como el parpadeo y la respuesta cardíaca respectivamente, con el propósito de examinar las múltiples influencias asociativas que podrían ocurrir durante la adquisición de una respuesta condicionada. Además, dado que estas tendencias emocionales o potenciadores pueden oponerse a las sensoriales o diminutivas, los estudios podrían incorporar procedimientos para separar estas respuestas basados en un locus específico. Por ejemplo, comparar un parpadeo provocado por un soplido de aire en un ojo (componente sensorial) con el miedo condicionado a un pulso eléctrico aplicado en la muñeca (componente emotivo). Asimismo, si se logra separar metodológicamente las tendencias asociativas emotivas potenciadoras y las tendencias sensoriales diminutivas, sería posible una mejor comprensión acerca del posible control asociativo en fenómenos como la habituación y la sensibilización.

Por otra parte, para investigar con humanos los procesos revisados en este documento, sin duda se requiere de cuidadosos análisis y descripción de la topografía de las respuestas condicionadas y su despliegue temporal en relación con la incondicionada en condiciones donde

se minimice la posibilidad que las personas hagan inferencias acerca de la relación entre los estímulos (por ejemplo, introduciendo carga cognitiva). Esto podría arrojar claves para evaluar con exactitud cuando una respuesta es el producto de un proceso automático o controlado. Esto es especialmente importante en los fenómenos de aprendizaje selectivo, donde el valor que adquiere un estímulo condicionado como señal o predictor del estímulo incondicionado depende del estatus predictivo de otros estímulos, lo cual se puede resolver tanto por vías asociativas o automáticas como por vías inferenciales o controladas. Asimismo, la controversia acerca de los fracasos de replicación en fenómenos de selectividad invita a que los estudios exploren sistemáticamente las condiciones experimentales bajo las cuales pueden ser observados. Por ejemplo, bajo el supuesto de que muchos de estos fracasos son el resultado de una generalización entre los ECs (Soto, 2018), los estudios podrían explorar el efecto de las propiedades de los estímulos en términos de su modalidad sensorial (igual vs distinta modalidad), dimensionalidad (integrales vs separables) y organización espacial (contiguos vs distantes).

Referencias

- Brandon, S., Betts, S., & Wagner, A. (1994). Discriminated lateralized eyeblink conditioning in the rabbit: An experimental context for separating specific and general associative influences. *Journal of Experimental Psychology: Animal Behavior Processes*, *20*, 292-307. doi: <http://dx.doi.org/10.1037/0097-7403.20.3.292>
- Brown, P., & Jenkins, H. (1968). Auto-shaping the pigeon's key-peck. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, *11*, 1-8. doi: 10.1901/jeab.1968.11-1
- Brown, J. S., Kalish, H. I., & Farber, I. E. (1951). Conditioned fear as revealed by magnitude of startle response to an auditory stimulus. *Journal of Experimental Psychology*, *41*(5), 317-328. doi: <http://dx.doi.org/10.1037/h0060166>
- Donegan, N. (1981). Priming-produced facilitation or diminution of responding to a Pavlovian unconditioned stimulus. *Journal of Experimental Psychology: Animal Behavior Processes*, *7*, 295-312. doi: <http://dx.doi.org/10.1037/0097-7403.7.4.295>
- Estes, W., & Skinner, B. (1941). Some quantitative properties of anxiety. *Journal of Experimental Psychology*, *29*, 390-400. doi: <http://dx.doi.org/10.1037/h0062283>
- Fam, J., Westbrook, R. F., & Holmes, N. M. (2017). An examination of changes in behavioral control when stimuli with different associative histories are conditioned in compound. *Journal of Experimental Psychology: Animal Learning and Cognition*, *43*(3), 205-218. doi: 10.1037/xan0000140
- García, J., & Koelling, R. (1966). Relation of cue to consequence in avoidance learning. *Psychonomic Science*, *4*, 123-124. doi: <https://doi.org/10.3758/BF03342209>
- Gormezano, I., Schneiderman, N., Deux, E., & Fuentes, I. (1962). Nictitating membrane: Classical conditioning and extinction in the albino rabbit. *Science*, *138*(3536), 33-34. doi: 10.1126/science.138.3536.33

- Grillon, C., & Davis, M. (1997). Fear-potentiated startle conditioning in humans: Explicit and contextual cue conditioning following paired versus unpaired training. *Psychophysiology*, 34(4), 451-458. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1469-8986.1997.tb02389.x>
- Haselgrove, M. (2010). Reasoning rats or associative animals? A common-element analysis of the effects of additive and subadditive pretraining on blocking. *Journal of Experimental Psychology: Animal Behavior Processes*, 36(2), 296. doi: 10.1037/a0016603
- Hilgard, E., & Campbell, A. (1936). The course of acquisition and retention of conditioned eyelid responses in man. *Journal of experimental Psychology*, 19, 227-247. doi: <http://dx.doi.org/10.1037/h0055600>
- Kamin, L. (1969). Predictability, surprise, attention and conditioning. En B. Campbell & R. Church (Eds.), *Punishment and aversive behavior* (pp. 279-296). New York: Appleton-Century-Crofts.
- Kimble, G., & Ost, J. (1961). A conditioned inhibitory process in eyelid conditioning. *Journal of Experimental Psychology*, 83, 45-51. doi: <http://dx.doi.org/10.1037/h0044932>
- Lissek, S., Biggs, A. L., Rabin, S. J., Cornwell, B. R., Alvarez, R. P., Pine, D. S., & Grillon, C. (2008). Generalization of conditioned fear-potentiated startle in humans: Experimental validation and clinical relevance. *Behaviour Research and Therapy*, 46(5), 678-687. doi: <https://doi.org/10.1016/j.brat.2008.02.005>
- Le Pelley, M.E., & McLaren, I.P.L. (2003). Learned associability and associative change in human causal learning. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology Section B: Comparative and Physiological Psychology*, 56(1), 68-79. doi:10.1080/02724990244000179
- Lovibond, P. F., Been, S. L., Mitchell, C. J., Bouton, M. E., & Frohardt, R. (2003). Forward and backward blocking of causal judgment is enhanced by additivity of effect magnitude. *Memory and Cognition*, 31, 133-142. doi: <https://doi.org/10.3758/BF03196088>

- Lovibond, P. F., Siddle, D. A., & Bond, N. (1988). Insensitivity to stimulus validity in human Pavlovian conditioning. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology B: Comparative and Physiological Psychology*, 40(4-B), 377-410. doi: <https://doi.org/10.1080/14640748808402331>
- Mackintosh, N. J. (1975). A theory of attention: Variations in the associability of stimuli with reinforcement. *Psychological Review*, 82, 276–298. doi:10.1037/h0076778
- Maes, E., Boddez, Y., Alfei, J. M., Krypotos, A.M., D'Hooge, R., De Houwer, J., & Beckers, T. (2016). The elusive nature of the blocking effect: 15 failures to replicate. *Journal of Experimental Psychology: General*, 145(9), e49-e71. doi:10.1037/xge0000200
- Maes, E., Krypotos, A.M., Boddez, Y., Alfei Palloni, J. M., D'Hooge, R., De Houwer, J., & Beckers, T. (2018). Failures to replicate blocking are surprising and informative—Reply to Soto (2018). *Journal of Experimental Psychology: General*, 147(4), 603-610. doi: 10.1037/xge0000413
- Martin, I., & Levey, A. B. (1965). Efficiency of the Conditioned Eyelid Response. *Science*, 150(3697), 781-783. doi: 10.1126/science.150.3697.781
- Martin, I., & Levey, A. B. (1991). Blocking observed in human eyelid conditioning. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology Section B*, 43(3b), 233-256. doi: <https://doi.org/10.1080/14640749108401269>
- Mitchell, C. J., De Houwer, J., & Lovibond, P. F. (2009). The propositional nature of human associative learning. *Behavioral and Brain Sciences*, 32(2), 183-198. doi: 10.1017/S0140525X09000855
- Pavlov, I. P. (1927). *Conditioned reflexes*. Oxford: Oxford University Press.
- Pearce, J. M., & Hall, G. (1980). A model for Pavlovian learning: Variations in the effectiveness of conditioned but not unconditioned stimuli. *Psychological Review*, 87, 532–552. doi:10.1037/0033-295X.87.6.532

- Rescorla, R. A. (1967). Pavlovian conditioning and its proper control procedures. *Psychological Review*, 74(1), 71-80. doi: <http://dx.doi.org/10.1037/h0024109>
- Rescorla, R. A., & Wagner, A. R. (1972). A theory of Pavlovian conditioning: Variations in the effectiveness of reinforcement and nonreinforcement. En A. H. Black & W. F. Prokasy (Eds.), *Classical conditioning II: Current theory and research* (pp. 64–99). New York, NY: Appleton Century Crofts.
- Sanderson, D. J., Jones, W. S., & Austen, J. M. (2016). The effect of the amount of blocking cue training on blocking of appetitive conditioning in mice. *Behavioural Processes*, 122, 36-42. doi: 10.1016/j.beproc.2015.11.007
- Soto, F. A. (2018). Contemporary associative learning theory predicts failures to obtain blocking: Comment on Maes et al. (2016). *Journal of Experimental Psychology: General*, 147(4), 597-602. doi: <http://dx.doi.org/10.1037/xge0000341>
- Vogel, E. H., Brandon, S. E., & Wagner, A. R. (2003). Stimulus representation in SOP: II. An application to inhibition of delay. *Behavioural Processes*, 62, 27-48. doi:10.1016/S0376-6357(03)00050-0
- Vogel, E. H., Glynn, J. Y., & Wagner, A. R. (2015). Cue competition effects in human causal learning. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 68(12), 2327-2350. doi:10.1080/17470218.2015.1014378
- Vogel, E. H., Ponce, F. P., & Wagner, A. R. (2018). The development and present status of the SOP model of associative learning. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 72(2), 346-374. doi: <https://doi.org/10.1177/1747021818777074>
- Vogel, E.H., & Wagner, A.R. (2017). A theoretical note in interpretation of the “redundancy effect” in associative learning. *Journal of Experimental Psychology: Animal Learning and Cognition*, 43(1), 119-125. doi: 10.1037/xan0000123

- Wagner, A. R. (1976). Priming in STM: An information-processing mechanism for self-generated or retrieval-generated depression in performance. En T. J. Tighe & R. N. Leaton (Eds.), *Habituation: Perspectives from child development, animal behavior and neurophysiology* (pp. 95–128). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Wagner, A.R. (1979). Habituation and Memory. En A. Dickinson & R.A. Boakes (Eds.), *Mechanisms of learning and motivation: A memorial volume for Jerzy Konorski* (pp. 53-82). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Wagner, A. R. (1981). SOP: A model of automatic memory processing in animal behavior. En N. E. Spear & R. R. Miller (Eds.), *Information processing in animals: Memory mechanisms* (pp. 5–48). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Wagner, A. R., & Brandon, S. E. (1989). Evolution of a structured connectionist model of Pavlovian conditioning (AESOP). En S. B. Klein & R. R. Mowrer (Eds.), *Contemporary learning theories: Pavlovian conditioning and the status of traditional learning theory* (pp. 149-189). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Wagner, A., & Vogel, E. (2010). Associative modulation of US processing: implications for understanding of habituation. En N. Schmajuk (Ed.), *Computational Models of Conditioning* (pp. 150-185). Durham: Duke University Medical Center.

Discriminación bilateral de la respuesta condicionada de parpadeo en humanos.

Pinto, Jorge A.^{*a}; Becerra, Sebastián A.^a

Artículo Original

Resumen	Abstract	Tabla de Contenido
<p>La presente investigación pretende determinar si la respuesta condicionada de parpadeo es lateralizada en humanos. Para esto se realizó un experimento donde los participantes recibieron un total de 132 ensayos consistentes en la presentación de estímulos auditivos y vibraciones, de los cuales 66 ensayos correspondían al estímulo condicionado (EC+) asociado con un soplo de aire como estímulo incondicionado (EI), alternados con 66 ensayos del estímulo condicionado (EC-) únicamente. Se midieron las respuestas tanto al ojo que recibió estimulación (ipsilateral) como al que no la recibió (contralateral) durante el curso del entrenamiento. Los resultados arrojaron que las respuestas son bilaterales, lo cual no permitiría separar los efectos sensoriales de los emocionales en una asociación EC-EI.</p> <p><i>Palabras clave:</i> condicionamiento, respuesta de parpadeo, respuestas sensoriales, respuestas emocionales</p>	<p>Bilateral discrimination of the eyeblink conditioned response in humans. The present investigation aims to determine if the conditioned response of eyeblink is lateralized in humans. For this an experiment was carried out, where the participants received a total of 132 tests consisting of the presentation of auditory stimuli and vibrations, of which 66 trials corresponded to the conditioned stimulus (CS+) associated with an air puff as unconditioned stimulus (US), alternated with 66 tests of the conditioned stimulus (CS-) only. The responses were measured both to the eye that received stimulation (ipsilateral) and to the one that did not receive it (contralateral) during the course of training. The results showed that the responses are bilateral, which would not allow separating the sensory effects of the emotional ones in an CS-US association.</p> <p><i>Keywords:</i> conditioning, eyeblink response, sensory responses, emotional responses</p>	<p>Introducción 9 Método 11 Participantes 11 Aparatos 11 Procedimiento 12 Análisis estadísticos 12 Resultados 12 Discusión 13 Referencias 14</p>

Recibido el 18 de abril de 2018; Aceptado el 25 de febrero de 2019

Editaron este artículo: Giselle Kamenetzky, Paula Abate, Noelia Villarreal, Yanina Michelini y Florencia Caneto

Introducción

En el condicionamiento clásico un estímulo inicialmente neutral designado como estímulo condicionado (EC) luego de sucesivos emparejamientos con un estímulo biológicamente significativo designado como estímulo incondicionado (EI), adquiere la capacidad de producir una respuesta condicionada (RC) similar a la respuesta incondicionada del EI (RI) (Pavlov, 1927). Numerosos estudios han demostrado que la influencia del EC sobre el procesamiento del EI no sólo desencadena la respuesta condicionada, sino que también interfiere en el procesamiento del EI. Un ejemplo de esto es un fenómeno conocido como Disminución Condicionada de la

Respuesta Incondicionada (DCRI) (Donegan, 1981), consistente en una reducción en la magnitud de la respuesta incondicionada producto de los emparejamientos EC-EI. El fenómeno de la DCRI sugiere que la presencia del EC consume los recursos cognitivos destinados al procesamiento del EI, causando que un EI pre-procesado o esperado pierda efectividad, ya sea en su capacidad para producir su propia respuesta o en su capacidad para servir como reforzador de nuevos estímulos condicionados (Wagner, 1981; Wagner & Vogel, 2010).

Una hipótesis que surge de estas nociones es que la DCRI podría ser prototípico de lo que

^a Universidad de Talca, Facultad de Psicología, Talca, Chile.

*Enviar correspondencia a: Pinto, J. A. E-mail: jpinto.atalca@gmail.com

Citar este artículo como: Pinto, J. A., & Becerra, S. A. (2019). Discriminación bilateral de la respuesta condicionada de parpadeo en humanos. *Revista Argentina de Ciencias del Comportamiento*, 11(1), 9-15

ocurre en fenómenos aún más básicos (Wagner & Vogel, 2010). Un ejemplo de esto es la habituación, donde ocurre una disminución en la respuesta producto de la mera repetición del estímulo. Es concebible pensar que esto se deba a una disminución en el procesamiento del estímulo, debido a que éste deja de ser sorprendente en el contexto de estimulación. La DCRI se diferencia de la habituación en que en la primera el EC es breve y explícito, mientras que en la segunda el EC es el contexto, el cual es más extendido y difuso. Según esta lógica, se esperaría que la habituación sea contexto-específica, de tal forma que al presentar el estímulo habituado en un contexto diferente debería ocurrir una recuperación de la respuesta. También se esperaría que la habituación se extinguiera si se presenta el contexto sin el estímulo habituado, tal como ocurre con la extinción en los procedimientos normales de condicionamiento.

Hace algunos años se realizaron esfuerzos por probar estas predicciones y los resultados en general fueron catalogados como desfavorables, al no observarse evidencia de relaciones asociativas entre el contexto y el estímulo habituado (e.g., Marlin & Miller, 1981; Piltz, Arnold, Rischawy, & Plappert, 2014). Sin embargo, también se ha reportado evidencia que demuestra que, para un mismo estímulo, la habituación de una de sus respuestas sufre de un decremento que es específico del contexto (e.g., supresión de la conducta de beber), mientras que para otras respuestas no (e.g., sobresalto), lo cual ha sido observado en ratas (Jordan, Strasser, & McHale, 2000), crustáceos (Maldonado, Romano, & Tomsic, 1997; Tomsic, Pedreira, Hermitte, Romano, & Maldonado, 1998), invertebrados (Rankin, 2000), aves (Chiandetti & Turatto, 2017) y humanos (Pinto, Becerra, Ponce, & Vogel, 2014).

Por otro lado, una revisión cuidadosa de los diseños de los estudios con resultados negativos nos sugiere que este rechazo a la hipótesis de especificidad contextual de la habituación podría haber sido un tanto prematuro. La principal dificultad de estos experimentos es que no han tenido en cuenta que para una misma respuesta existen múltiples influencias asociativas con componentes sensoriales y emotivos, los cuales a veces comandan efectos antagónicos. Por ejemplo, es necesario reconocer que una de las

complicaciones que surgen al analizar cualquier tendencia a la DCRI de un estímulo aversivo, como lo son generalmente los estímulos incondicionados, es que el EC que se asocia con éste puede producir una respuesta emocional que potencia una amplia gama de conductas defensivas (Bombace, Brandon, & Wagner, 1991; Brandon, Bombace, Falls, & Wagner, 1991; Brandon & Wagner, 1991). Por ejemplo, Brandon et al. (1991) demostraron que, si bien al emparejar un EC de larga duración con un choque eléctrico paraorbital en conejos no conduce al desarrollo de una respuesta condicionada de parpadeo, el EC adquiere la capacidad de potenciar otro tipo de respuestas, tales como el sobresalto causado por un soplo de aire en la oreja. Es decir, un EC que no desarrolla una RC sensorial (parpadeo), puede desarrollar respuestas condicionadas emocionales (potenciación).

Por otra parte, la habilidad de un EC para potenciar otro tipo de respuestas no se limita a las respuestas incondicionadas, sino también a respuestas condicionadas de tipo sensorial desarrolladas independientemente por otros estímulos condicionados. Un ejemplo de esto es un estudio realizado por Brandon y Wagner (1991) en el cual un grupo de conejos recibieron emparejamientos de un choque eléctrico paraorbital con un EC de larga duración en algunos ensayos y con un EC de corta duración, en otros. Los animales desarrollaron respuestas condicionadas de parpadeo al EC corto, pero no al largo, cuando eran presentados por sí solos. Sin embargo, la amplitud de la RC al estímulo corto fue significativamente aumentada cuando este estímulo era presentado en conjunto con el estímulo largo, lo cual indica que el EC largo había desarrollado propiedades potenciadoras.

Resulta obvio que estas respuestas emocionales generalizadas pueden complicar la interpretación de los estudios que se realizan para evaluar la especificidad contextual de la habituación. Una estrategia experimental para separar los efectos emocionales de los sensoriales se basa en la evidencia que indica que el procesamiento del condicionamiento de parpadeo es lateralizado al hemisferio del cerebelo que es ipsilateral al EI (e.g., en conejos, Miller et al., 2003; y humanos, Schreurs et al., 1997). Específicamente, Brandon, Betts y Wagner (1994) realizaron un estudio en el cual tres grupos de conejos se sometieron a condiciones en la que

dos estímulos condicionados, ECx y ECy, fueron cada uno consistentemente reforzados. En un grupo, ambos EC's fueron emparejados con EI's aplicados al ojo izquierdo (I); en otro, ambos con EI's aplicados al ojo derecho (D), y un tercero, con el EI aplicado tanto al ojo izquierdo como al ojo derecho. Los resultados del estudio demuestran que los animales entrenados y posteriormente probados en su ojo izquierdo, aprendieron a parpadear a éste con ambos EC's (con pocas respuestas al ojo derecho), mientras que los animales entrenados y probados en una fase posterior en su ojo derecho, aprendieron a parpadear a éste con ambos EC's (con pocas respuestas al ojo izquierdo), y finalmente, cuando los animales fueron entrenados y probados en ambos ojos, aprendieron a parpadear en su ojo izquierdo con un EC, y al ojo derecho con otro EC, con pocas respuestas al ojo alternativo o contralateral. Con esta estrategia experimental, es posible evaluar la DCRI no sólo comparando la respuesta al EI cuando es precedido por el EC versus cuando no lo es, sino que también cuando el EI es precedido por un EC que fue asociado con un EI sensorialmente diferente (por ejemplo, un soplo de aire en el otro ojo) pero que genera las mismas respuestas emocionales generalizadas que el otro EC.

En consecuencia, el objetivo de la investigación es examinar una estrategia experimental que nos permita disociar los aspectos emocionales de los sensoriales involucrados en una asociación EC-EI. Específicamente, la presente investigación pretende determinar si la adquisición de la respuesta condicionada de parpadeo en humanos tiene el mismo grado de lateralización que en conejos. Se espera que exista lateralización si un estímulo incondicionado aplicado en el lado derecho no genera una respuesta condicionada en el lado izquierdo y viceversa.

Método

Participantes

Un total de 17 estudiantes de la Universidad de Talca participaron voluntariamente en el estudio, correspondientes a 9 hombres y 8 mujeres cuyas edades fluctuaron entre los 19 y 24 años. Estos firmaron un consentimiento informado, en el cual se presentaron los objetivos de la investigación, las características de los estímulos que recibirían, junto con enfatizar la

opción de renunciar a participar del experimento en el momento en que lo consideraran pertinente. El contenido del consentimiento informado y el procedimiento del experimento, fueron aprobados por el Comité Ético Científico (CEC) de la Universidad de Talca (Folio: 17-2018).

Aparatos

Las sesiones experimentales se realizaron en una habitación, acústicamente aislada (2.5 x 2.8 x 2.4 metros) y tenuemente iluminada mediante lámparas fluorescentes de 18 watts, ubicada en el laboratorio de Psicología de la Universidad de Talca. El sistema Eyeblink Conditioning System (San Diego Instruments Inc., San Diego, CA) fue utilizado para configurar la sesión de entrenamiento, la presentación de estímulos y la medición de la amplitud de la respuesta palpebral.

Los participantes del estudio recibieron como estímulo incondicionado, uno táctil consistente en un soplo de aire en el contorno del ojo generado por un compresor de aire calibrado en intensidad mediante un medidor de presión y administrado por medio de un cintillo con un tubo de aire, cuya intensidad fue de 9 libra por pulgada cuadrada (psi) con una duración de 100 milisegundos. Como estímulos condicionados, un tono de 65 dB administrado por medio de audífonos MAICO y una vibración de 30 Hz con una duración de 500 milisegundos en cada caso. Respecto de la vibración, esta fue aplicada por medio de un masajeador instalado en el sillón en el cual se sentaban los participantes.

La respuesta palpebral fue medida por medio de dos sensores infrarrojos los cuales fueron colocados frente a los ojos de los participantes y sujetos por un cintillo que permitía mantener fija la posición del sensor independiente de los cambios posturales. La respuesta de parpadeo produce una interrupción en la emisión infrarroja, la que se traduce en cambios en el voltaje transmitido por el sensor. Se registró el valor de voltaje con una frecuencia de 1 muestra por cada 1 milisegundo. Con el fin de tener una medida de una respuesta de parpadeo típica, se realizó un ensayo de estandarización con un voluntario no entrenado el cual fue instruido a cerrar completamente su ojo derecho después de la presentación de un tono de 90 dB y luego no realizar ningún intento por controlar el ojo hasta la presentación del siguiente tono. El valor de voltaje máximo obtenido con este participante (8350-mV)

fue considerado como una respuesta de amplitud del 100 %. Este procedimiento permite estimar el valor del voltaje máximo para un cierre completo del ojo. Las respuestas máximas de cada participante durante los ensayos fueron expresadas como un porcentaje de este valor.

Durante los 200 milisegundos que anteceden a la presentación del EC se registraron los voltajes en ausencia de estimulación (línea base). El período correspondiente a las respuestas alfa (α), es decir las respuestas incondicionadas al EC, abarcó desde el momento de la aparición del EC hasta los 300 milisegundos, por su parte la respuesta condicionada (RC) fue registrada desde los 300 milisegundos desde la aparición del EC hasta la presentación del EI (600 milisegundos) y la respuesta incondicionada (RI) fue medida desde la aparición del EI hasta los 800 milisegundos del ensayo. En los ensayos, en los cuales se presentó el EC emparejado con el EI (EC+) se consideró un intervalo entre estímulos de 400 milisegundos.

Se consideró como un ensayo válido, aquella respuesta palpebral con una amplitud inferior al 20 % obtenido en ausencia de estimulación (línea base) y una amplitud inferior al 5 % durante el período de la respuesta alfa. Por su parte, en los ensayos válidos, se consideró como respuesta condicionada la que superó una amplitud del 5 % en el período correspondiente. De igual modo, se consideró como respuesta incondicionada toda respuesta que superó una amplitud del 5 % en el período correspondiente.

Procedimiento

La sesión experimental consideró tres etapas: preparación, adaptación y entrenamiento. La tarea en conjunto completó una duración que totalizó 60 minutos aproximadamente. En la etapa de preparación, los participantes leyeron y firmaron un consentimiento informado y tuvieron la posibilidad de consultar sobre cualquier aspecto comprometido en el experimento. Posteriormente, el experimentador colocó los audífonos y el cintillo con el sensor infrarrojo y tubo de aire en la cabeza de los participantes. En ese momento, se les solicitó a los participantes que parpadearan repetidamente con el fin de obtener una respuesta de parpadeo detectable. En la etapa de adaptación, el experimentador cerró la cámara experimental y los participantes fueron sometidos a un período de 5 minutos sin estimulación, con el

fin de que pudiesen adaptarse al contexto. Luego, se ejecutó la siguiente fase desde el computador.

En la etapa de entrenamiento los participantes recibieron primero un total de 132 ensayos, de los cuales 66 ensayos correspondían al EC+ que co-termina con el EI, entremezclados con 66 ensayos del estímulo EC- por sí solo. El intervalo entre ensayos varió aleatoriamente entre 15, 20 y 25 segundos. Los ensayos de entrenamiento fueron presentados en orden pseudo-aleatorio, el cual varió entre los participantes. Para 9 de los participantes el estímulo EC+ fue el tono y el estímulo EC- la vibración, mientras que, para los 8 restantes, la naturaleza de los estímulos se invirtió (es decir EC+ = Vibración y EC- = Tono).

Análisis estadísticos

Los 66 ensayos de condicionamiento con cada estímulo se agruparon en 6 bloques de 11 ensayos en los cuales se calculó la amplitud de la respuesta condicionada. Para evaluar la significancia estadística de los efectos del experimento se realizó un ANOVA de medidas repetidas de 2 (Localización: ipsilateral y contralateral) X 2 (Estímulos: EC+ y EC-) X 6 (Bloque de entrenamiento: bloque 1, bloque 2,..., bloque 6) utilizando la amplitud de la respuesta condicionada de parpadeo como variable dependiente. Cuando la interacción estímulo x localización x bloque resulta significativa se examinan los efectos simples de la variable estímulo en cada bloque y localización con la prueba post-hoc Least Significant Difference (LSD). Dado que no se cumplió el supuesto de esfericidad del modelo, se aplicó la corrección Greenhouse-Geisser. Los tamaños del efecto asociados a los factores se computaron a través de la eta cuadrada parcial. Los análisis estadísticos fueron ejecutados con el paquete estadístico SPSS versión 15.

Resultados

La [Figura 1](#) presenta la amplitud media de la respuesta condicionada según el estímulo entrenado (EC+ y EC-) y localización del ojo estimulado y no estimulado (ipsilateral y contralateral respectivamente). Se observa una mayor amplitud de la respuesta condicionada al estímulo emparejado con el EI (EC+) en comparación al estímulo que se presenta por sí solo (EC-) tanto para el ojo estimulado (ipsilateral) como el que no recibió estimulación (contralateral)

en el curso del entrenamiento. Además, la amplitud de la respuesta condicionada a los estímulos EC+ ipsilateral y EC+ contralateral muestra cambios progresivos en el curso del entrenamiento que aumentan hasta alcanzar asíntota. Por el contrario, la amplitud de la respuesta condicionada a los estímulos EC- ipsilateral y EC- contralateral inicialmente aumenta, probablemente por generalización de EC+ a EC-, y posteriormente disminuye progresivamente lográndose la discriminación.

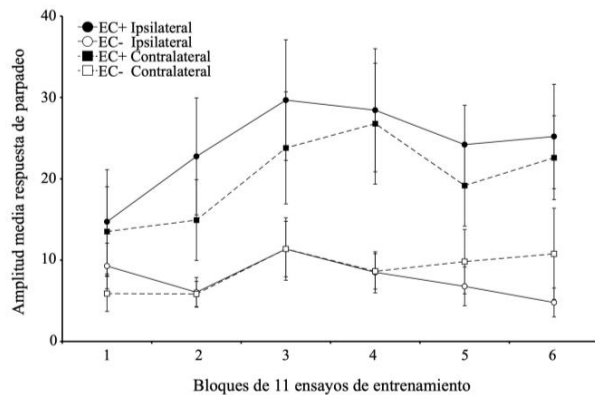


Figura 1. Amplitud media de la respuesta de parpadeo condicionada según los estímulos entrenados (EC+ y EC-) y la localización (ipsilateral y contralateral) en el curso del entrenamiento. Las barras de error representan el error estándar de la media.

El ANOVA de medidas repetidas reveló un efecto principal de estímulos, $F(1, 16) = 6.572$; $p = .021$; η^2 parcial = .291, y bloque de entrenamiento, $F(2.906, 46.493) = 3.172$; $p = .034$; η^2 parcial = .165, pero arrojó una ausencia de efecto principal significativo de la variable localización, $F(1, 16) = .975$; $p = .338$; η^2 parcial = .057. Además, arrojó efectos de interacción marginalmente significativos entre estímulos x bloque de entrenamiento, $F(3.96, 63.363) = 2.278$; $p = .071$; η^2 parcial = .125, y entre localización x estímulos, $F(1, 16) = 3.823$; $p = .068$; η^2 parcial = .193, pero no reveló efectos de interacción entre localización x bloque, $F(2.88, 46.083) = .947$; $p = .423$; η^2 parcial = .056, ni triple interacción entre localización x estímulos x bloque de entrenamiento, $F(3.993, 63.895) = 1.192$; $p = .323$; η^2 parcial = .069.

Dado que la interacción entre estímulos y bloque de entrenamiento fue marginalmente significativa se examinaron los efectos simples, los cuales revelaron que con la excepción del

primer bloque ($p = .264$), existe una mayor amplitud de la respuesta condicionada al estímulo EC+ que a EC- en los bloques restantes ($p < .035$). Esto confirma las observaciones de un inicial aumento generalizado de EC+ a EC- y la posterior discriminación que se manifestó en una mayor amplitud de la respuesta condicionada al estímulo EC+ que a EC- independiente del ojo estimulado (ipsilateral) y no estimulado (contralateral). En cuanto al efecto de interacción marginal entre localización y estímulos, los efectos simples revelaron que existe una mayor respuesta condicionada a EC+ que a EC- independiente de la localización ipsilateral ($p = .015$) y contralateral ($p = .038$).

En conclusión, estos hallazgos demuestran que la respuesta condicionada de parpadeo en humanos no es lateralizada como en los conejos.

Discusión

El presente estudio muestra que la amplitud de la respuesta condicionada en humanos es bilateral, lo cual no permitiría separar los efectos sensoriales de los emotivos en fenómenos como la habituación (Wagner & Vogel, 2010). Esto es consistente con los hallazgos experimentales que indican que esta estrategia no podría implementarse en cualquier especie dada la presencia de respuestas condicionadas bilaterales, como en el caso de monos, perros y ratas (Campolattaro & Freeman, 2009; Hilgard & Marquis, 1935). Esto se explicaría por la presencia de un componente contralateral de la RC en el curso del entrenamiento (Campolattaro & Freeman, 2009; Lee, Kim, & Wagner, 2009; McCormick, Lavond, & Thompson, 1982). Por ejemplo, Brandon et al. (1994) no solo demostraron la presencia de RCs lateralizadas sino que además observaron RCs contralaterales las cuales variaban en magnitud según la modalidad sensorial de los ECs utilizados. Esto, cuando los ECs utilizados durante el entrenamiento fueron de modalidades diferentes, se observó una menor presencia de respuestas contralaterales en comparación a cuando los ECs fueron de la misma modalidad sensorial (e.g., estímulos auditivos, tono y ruido). De igual modo, Campolattaro y Freeman (2009) examinaron la presencia de respuestas bilaterales en un procedimiento de condicionamiento de parpadeo en ratas y demostraron la presencia de respuestas

contralaterales e ipsilaterales aunque la adquisición de éstas últimas fue más rápida con un mayor porcentaje total de respuestas en comparación con las RC's contralaterales.

La investigación descrita ha puesto en evidencia la existencia de múltiples influencias asociativas activadas por el EC que interfieren en el procesamiento del EI y que, pese a su contribución a la neurobiología del aprendizaje humano, ninguno de estos fenómenos se ha investigado sistemáticamente con el procedimiento de condicionamiento de parpadeo en humanos (Woodruff-Pak & Steinmetz, 2002). El presente estudio demuestra que la expresión de la respuesta condicionada de parpadeo en humanos es bilateral y que, en consecuencia, complicaría la posibilidad de evaluar la naturaleza asociativa o no asociativa de los mecanismos que gobiernan los fenómenos de la DCRI o habituación los cuales requerirían de la separación de los efectos sensoriales de los emotivos para ser observados. Por lo tanto, no aporta información procedimental valiosa y como consecuencia, deben buscarse otras alternativas.

Tomando en consideración esto último, se sugiere explorar otras estrategias, por ejemplo, el efecto de intensidad incremental del estímulo estudiado en habituación. Este efecto fue propuesto por Davis y Wagner (1969) los cuales compararon la respuesta acústica de sobresalto en grupos de ratas expuestas a 750 estímulos. En una condición, un grupo de ratas fue expuesta a una estimulación de intensidad constante de 120 dB, en otra condición, con una intensidad constante de 100 dB, otras fueron estimuladas con intensidades presentadas en un orden aleatorio entre 85 y 120 dB, y finalmente, un grupo fue expuesto a la presentación de estímulos que gradualmente aumentaron en intensidad de un mínimo de 85 a un máximo de 120 dB a lo largo del entrenamiento. Los resultados de la fase de prueba indicaron una menor respuesta del grupo que fue expuesto a los estímulos presentados con intensidades incrementales en comparación a los otros tres grupos. El interrogante que surge de dichos resultados se refiere a si tales diferencias se deben a una habituación de mayor efectividad o a una menor sensibilización en el grupo expuesto a la presentación de los estímulos en una secuencia de intensidades incrementales.

Las hipótesis de posibles diferencias en sensibilización descrita por los teóricos como

mecanismo del efecto incremental, podría evaluarse con procedimientos más sofisticados que la mera medición fisiológica (Ponce, Quintana, Philominraj, & Vogel, 2011). En este sentido, la estrategia consiste en presentar, luego del entrenamiento incremental, una clave novedosa capaz de desencadenar la misma respuesta que el estímulo habituado o una distinta. Si las diferencias entre el grupo constante e incremental están dadas por variaciones en los niveles de sensibilización (Davis & Wagner, 1969; Groves & Thompson, 1970), cuyo nivel de procesamiento es generalizado, la presentación de un estímulo novedoso arrojaría similares diferencias a las observadas con la clave entrenada en la respuesta entre el grupo constante e incremental (Ponce, Vogel, & Wagner, 2015).

Referencias

- Bombace, J., Brandon, S., & Wagner, A. (1991). Modulation of a conditioned eyeblink response by a putative emotive stimulus conditioned with hindleg shock. *Journal of Experimental Psychology: Animal Behaviour Processes*, 17(3), 323-333. doi: 10.1037/0097-7403.17.3.323
- Brandon, S., Betts, S., & Wagner, A. (1994). Discriminated lateralized eyeblink conditioning in the rabbit: An experimental context for separating specific and general associative influences. *Journal of Experimental Psychology: Animal Behavior Processes*, 20(3), 292-307. doi: 10.1037/0097-7403.20.3.292
- Brandon, S. E., Bombace, J. C., Falls, W. T., & Wagner, A. R. (1991). Modulation of unconditioned defense reflexes by a putative emotive Pavlovian conditioned stimulus. *Journal of Experimental Psychology: Animal Behavior Processes*, 17(3), 312-322. doi: 10.1037/0097-7403.17.3.312
- Brandon, S. E., & Wagner, A. R. (1991). Modulation of a discrete Pavlovian conditioned reflex by a putative emotive Pavlovian conditioned stimulus. *Journal of Experimental Psychology: Animal Behavior Processes*, 17(3), 299-311. doi: 10.1037/0097-7403.17.3.299
- Campolattaro, M. M., & Freeman, J. H. (2009). Examination of bilateral eyeblink conditioning in rats. *Behavioral Neuroscience*, 123(6), 1346-1352. doi: 10.1037/a0017314
- Chiandetti, C., & Turatto, M. (2017). Context-specific habituation of the freezing response in newborn chicks. *Behavioral Neuroscience*, 131(5), 437-446. doi: 10.1037/bne0000212
- Davis, M., & Wagner, A. (1969). Habituation of startle response under incremental sequence of stimulus

- intensities. *Journal of Comparative & Physiological Psychology*, 67(4), 486-492. doi: 10.1037/h0027308
- Donegan, N. (1981). Priming-produced facilitation or diminution of responding to a Pavlovian unconditioned stimulus. *Journal of Experimental Psychology: Animal Behavior Processes*, 7(4), 295-312. doi: 10.1037/0097-7403.7.4.295
- Groves, P. M., & Thompson, R. F. (1970). Habituation: a dual process theory. *Psychological Review*, 77(5), 419-450. doi: 10.1037/h0029810
- Hilgard, E., & Marquis, D. (1935). Acquisition, extinction, and retention of conditioned lid responses to light in dogs. *Journal of Comparative Psychology*, 19(1), 29-58. doi: 10.1037/h0057836
- Jordan, W., Strasser, H., & McHale, L. (2000). Contextual control of long-term habituation in rats. *Journal of Psychology: Animal Behavior Processes*, 26(3), 323-339. doi: 10.1037/0097-7403.26.3.323
- Lee, T., Kim, J., & Wagner, A. (2009). Discriminative conditioning with different CS-US intervals produces temporally differentiated conditioned responses in the two eyes of the rabbit (*Oryctolagus cuniculus*). *Behavioral Neuroscience*, 123(5), 1085-1094. doi: 10.1037/a0016643
- Maldonado, H., Romano, A., & Tomsic, D. (1997). Long-term habituation (LTH) in the crab *Chasmagnathus*: A model for behavioral and mechanistic studies of memory. *Brazilian Journal of Medical and Biological Research*, 30(7), 813-826. doi: 10.1590/S0100-879X1997000700001
- Marlin, N., & Miller, R. (1981). Associations to contextual stimuli as a determinant of long-term habituation. *Journal of Experimental Psychology: Animal Behavior Processes*, 7(4), 313-333. doi: 10.1037/0097-7403.7.4.313
- McCormick, D. A., Lavond, D. G., & Thompson, R. F. (1982). Concomitant classical conditioning of the rabbit nictitating membrane and eyelid responses: correlations and implications. *Physiology & Behavior*, 28(5), 769-775. doi: 10.1016/0031-9384(82)90192-5
- Miller, M. J., Chen, N. K., Li, L., Tom, B., Weiss, C., Disterhoft, J. F., & Wyrwicz, A. M. (2003). fMRI of the conscious rabbit during unilateral classical eyeblink conditioning reveals bilateral cerebellar activation. *The Journal of Neuroscience*, 23(37), 11753-11758. doi: 10.1523/JNEUROSCI.23-37-11753.2003
- Pavlov, I. (1927). *Conditioned reflexes*, (G. V. Anrep Trad.). London: Oxford University Press.
- Pilz, P. K., Arnold, S. W., Rischawy, A. T., & Plappert, C. F. (2014). Long term-habituation of the startle response in mice is stimulus modality, but not context specific. *Frontiers in integrative neuroscience*, 7(103), 1-10. doi: 10.3389/fnint.2013.00103
- Pinto, J. A., Becerra, S. A., Ponce, F. P., & Vogel, E. H. (2014). Especificidad contextual diferencial en la habituación de las respuestas de parpadeo y aceleración cardiaca en humanos. *Universitas Psychologica*, 13(4), 1245-1254. doi: 10.11144/Javeriana.UPSY13-4.ecdh
- Ponce, F. P., Quintana, G. R., Philominraj, A. S., & Vogel, E. H. (2011). Habituation of the eyeblink response in humans with stimuli presented in a sequence of incremental intensity. *Biological Research*, 44(3), 295-299. doi: 10.4067/S0716-97602011000300011
- Ponce, F. P., Vogel, E. H., & Wagner, A. R. (2015). The incremental stimulus intensity effect in the habituation of the eyeblink response in humans. *Learning and Motivation*, 52, 60-68. doi: 10.1016/j.lmot.2015.10.001
- Rankin, C. (2000). Context conditioning in habituation in the nematode *Caenorhabditis elegans*. *Behavioural Neuroscience*, 114(3), 496-505. doi: 10.1037/0735-7044.114.3.496
- Schreurs, B. G., McIntosh, A. R., Bahro, M., Herscovitch, P., Sunderland, T., & Molchan, S. E. (1997). Lateralization and behavioral correlation of changes in regional cerebral blood flow with classical conditioning of the human eyeblink response. *Journal of Neurophysiology*, 77(4), 2153-2163. doi: 10.1152/jn.1997.77.4.2153
- Tomsic, D., Pedreira, M., Hermitte, G., Romano, A., & Maldonado, H. (1998). Context-US association as a determinant of long-term habituation in the crab *Chasmagnathus*. *Animal Learning & Behavior*, 26(2), 196-209. doi: 10.3758/BF03199212
- Wagner, A. R. (1981). SOP: A model of automatic memory processing in animal behavior. En N. E. Spear & R. R. Miller (Eds.): *Information processing in animals: Memory mechanisms* (pp. 5-47). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Wagner, A., & Vogel, E. (2010). Associative modulation of US processing: implications for understanding of habituation. En Schmajuk, N. (Ed.). *Computational Models of Conditioning* (pp. 150-185). Durham: Duke University Medical Center.
- Woodruff-Pak, D., & Steinmetz, J. (2002). Past, present, and future of human eyeblink classical conditioning. En D. Woodruff-Pak & J. Steinmetz (Eds.), *Eyeblink classical conditioning: Volume I, applications in humans* (pp. 5-7). New York: Kluwer academic publishers.

Facilitación y disminución condicionada de la respuesta incondicionada en humanos

Conditioned Diminution and Facilitation of the Unconditioned Response in Humans
Facilitação e diminuição condicionada da resposta incondicionada em humanos

Sebastián Agustín Becerra Céspedes, Jorge Andrés Pinto Pinto*

Universidad de Talca

Doi: [dx.doi.org/10.12804/apl33.01.2015.01](https://doi.org/10.12804/apl33.01.2015.01)

Resumen

La disminución condicionada de la respuesta incondicionada es un fenómeno de *priming*, según el cual los estímulos predichos o anticipados tienden a ser procesados con menor efectividad que cuando son inesperados. Esta hipótesis fue examinada por medio de un experimento en el cual se sometió a un grupo de estudiantes a una sesión de condicionamiento donde recibieron un total de 132 ensayos consistentes en la presentación de estímulos auditivos y vibraciones. De estos ensayos, 66 correspondían al Estímulo Condicionado Reforzado (EC+) que co-termina con un soplo de aire como Estímulo Incondicionado (EI), entremezclados con 66 ensayos del Estímulo Condicionado no Reforzado (EC-) por sí solo. Posteriormente, en una sesión de prueba los participantes recibieron una serie de ensayos en los cuales se examinó la RI a estímulos incondicionados de alta y baja intensidad cuando eran precedidos por los EC+ y EC-. Los resultados arrojaron una mayor amplitud de la Respuesta Condicionada (RC) al EC+ en comparación con el EC- en el curso del entrenamiento y una mayor

amplitud de la Respuesta Incondicionada (RI) al EC+ cuando los ECs fueron probados con un EI de baja intensidad, mientras que, contrario a lo esperado, no hubo diferencias significativas en la amplitud de la RI cuando los ECs fueron probados con un EI de alta intensidad. Estos hallazgos no son concluyentes para determinar que el estímulo condicionado tiene dos formas opuestas de influir en la magnitud de la respuesta incondicionada. *Palabras clave:* Condicionamiento, facilitación condicionada, disminución condicionada

Abstract

Conditioned diminution of the unconditioned response is a phenomenon of priming, in which the predicted or anticipated stimuli tend to be processed less effectively than when they are unexpected. This hypothesis was examined in an experiment in which a group of students received a conditioning session consisting of the presentation of a total of 132 trials of auditory and vibration stimuli, of which 66 trials corresponded to Conditioned Stimuli with Reinforcement (CS+) that co-terminated

* Sebastián Agustín Becerra Céspedes, Universidad de Talca; Jorge Andrés Pinto Pinto, Universidad de Talca.

Agradecemos a Fernando Ponce y Edgar Vogel por su colaboración en la investigación desarrollada.

La correspondencia relacionada con este artículo debe ser dirigida a Jorge Andrés Pinto Pinto, Universidad de Talca, Facultad de Psicología, Talca, Chile. Correo electrónico: jpinto.utralca@gmail.com

Para citar este artículo: Becerra, C. S. A., & Pinto, P. J. A. (2015). Facilitación y disminución condicionada de la respuesta incondicionada en humanos. *Avances en Psicología Latinoamericana*, 33(1), 1-14. doi: [dx.doi.org/10.12804/apl33.01.2015.01](https://doi.org/10.12804/apl33.01.2015.01)

with an air puff as Unconditioned Stimulus (US), interspersed with 66 trials of Conditioned Stimuli without Reinforcement (CS-) alone. Subsequently, in a testing session, participants received a series of trials in which the unconditioned response (UR) was examined to unconditioned stimuli of high and low intensity when the stimulus was preceded by CS+ or CS-. The results showed greater amplitude of CR to the CS+ compared to the CS- during training and greater amplitude of the UR to the CS+ when the CSs were tested with US low intensity while contrary to expectations, there were no significant differences in the amplitude of the UR when CSs was tested with high intensity USs.

These findings are not conclusive as to whether the conditioned stimulus has two opposite ways to influence the magnitude of the unconditioned response.

Key words: Conditioning, conditioned facilitation, conditioned diminution

Resumo

A diminuição condicionada da resposta incondicionada é um fenômeno de “priming”, segundo o qual os estímulos preditos ou antecipados tendem a ser processados com menor efetividade que quando são inesperados. Esta hipótese foi examinada através de um experimento no qual se submeteu a um grupo de estudantes a uma sessão de condicionamento onde receberam um total de 132 ensaios consistentes na apresentação de estímulos auditivos e vibrações, dos quais 66 ensaios correspondiam ao estímulo EC+ que termina com um sopro de ar como EI, entremeados com 66 ensaios do estímulo EC- por si só. Posteriormente, em uma sessão de prova os participantes receberam uma série de ensaios nos quais examinou-se a RI a estímulos incondicionados de alta e baixa intensidade quando eram precedidos pelos estímulos EC+ y EC-. Os resultados expuseram uma maior amplitude da RC ao EC+ em comparação ao EC-no curso do treinamento e uma maior amplitude da RI ao EC+ quando os ECs foram provados com um EI de baixa intensidade enquanto que contrário ao esperado, não houve diferenças significativas na amplitude

da RI quando os ECs foram provados com um EI de alta intensidade.

Estes achados não são concluintes para determinar que o estímulo condicionado tem duas formas opostas de influir na magnitude da resposta incondicionada.

Palavras-chave: Condicionamento, facilitação condicionada, diminuição condicionada

Tras sucesivos emparejamientos de un estímulo conductualmente neutral, denominado Estímulo Condicionado (EC), con uno biológicamente significativo o Estímulo Incondicionado (EI), el EC adquiere la capacidad de generar una Respuesta Condicionada (RC). Este tipo de aprendizaje se conoce como condicionamiento clásico (Pavlov, 1927).

Un procedimiento que satisface particularmente bien las demandas actuales es el condicionamiento de parpadeo en conejos (Gormezano, Schneiderman, Deux & Fuentes, 1962). En este procedimiento, los conejos, quienes raramente parpadean, aprenden a parpadear a estímulos visuales, auditivos y táctiles después de emparejarlos con un soplo de aire en la córnea o con una estimulación eléctrica en los músculos oculares. Uno de los atractivos de este procedimiento es la robustez y nitidez con la que se produce la aparición progresiva de una respuesta condicionada de parpadeo, la cual posee una sorprendente precisión temporal, al iniciarse en el momento justo en el que se espera que ocurra el estímulo incondicionado. Así, después de una gran cantidad de emparejamientos entre el EC y el EI, los conejos no solo aprenden a anticipar el EI emitiendo una respuesta condicionada, sino que también aprenden, con extraordinaria exactitud, el momento en el que deben emitir esta respuesta. Esto ha motivado a los investigadores a formular modelos matemáticos sofisticados de condicionamiento que tengan en cuenta no solo la generación de la respuesta sino también su topografía temporal.

Por otra parte, los modelos matemáticos inspirados en el procedimiento de condicionamiento de parpadeo en conejos han motivado la búsqueda de sus correlatos neurobiológicos, encontrándose evidencia de participación de estructuras tales como el cerebelo, la amígdala y el hipocampo. Por ejemplo, se han encontrado las vías neuronales que están involucradas en el procesamiento conjunto del EC y el EI en el núcleo del cerebelo (Christian & Thompson, 2003; Thompson, Thompson, Kim, Krupa & Shinkman, 1998) y los sitios que explicarían el ajuste temporal de la respuesta en sinapsis plásticas de las células Golgi en la corteza cerebelar (Mauk, Medina, Nores & Ohshima, 2000). Además, se ha determinado que el hipocampo cumpliría un rol central en la retención de los estímulos en la memoria de corto plazo cuando estos ya no se encuentran presentes (Sanderson, Pearce, Kyd & Aggleton, 2006) y la amígdala actuaría como un agente modulador de la respuesta condicionada de parpadeo por medio de un sistema paralelo de condicionamiento emocional (Fanselow & LeDoux, 1999; Lanuza, Moncho-Bogani & LeDoux, 2008).

Con estos datos neurobiológicos en la mano, los investigadores han especulado acerca de las implicaciones de estos hallazgos para la neurobiología del aprendizaje en humanos (Steinmetz, Tracy & Green, 2001). Por ejemplo, se han sugerido relaciones entre el déficit de condicionamiento y ciertas patologías del cerebelo e hipocampo (Daum et al., 1993). Las investigaciones en esta materia se han realizado con participantes que padecen amnesia (Schugens & Daum, 1999), lesiones cerebelares diversas (Bracha, Zhao, Wunderlich, Morrissy & Bloedel, 1997), autismo (Sears, Finn & Steinmetz, 1994) y Alzheimer (Woodruff-Pak, Romano & Papka, 1996).

Pese al entusiasmo que han despertado estos hallazgos, los estudios de condicionamiento con humanos distan mucho de la sofisticación que tiene el paradigma con conejos. Específicamente, si bien el paradigma de condicionamiento palpebral en humanos tiene una larga historia, la forma en que

se utiliza en la actualidad adolece de muchas carencias metodológicas (Woodruff-Pak & Steinmetz, 2002). En primer lugar, los humanos parpadean con mucha más frecuencia que los conejos y lo hacen por varias razones, no solo reflejas sino que también cognitivas de carácter voluntario (Spence & Ross, 1959). Esto demanda que los protocolos de condicionamiento establezcan distinciones entre distintos tipos de respuesta, ya que no todas las respuestas de parpadeo que emiten las personas en presencia de un estímulo condicionado son, en estricto rigor, respuestas condicionadas. La omisión de estas consideraciones en varios estudios de condicionamiento en humanos puede explicar la inconsistencia de muchos resultados experimentales.

Por otra parte, la investigación con conejos ha puesto en evidencia que la generación de la respuesta condicionada no es la única consecuencia que resulta del establecimiento de una asociación entre el EC y el EI. Numerosos estudios han demostrado que el EC interfiere con la capacidad del EI para auto-generar su propio procesamiento. Una forma en la que esta interferencia puede ocurrir se relaciona con un fenómeno conocido como “Disminución Condicionada de la Respuesta Incondicionada” (DCRI, Kimble & Ost, 1961), consistente en una reducción en la magnitud de la respuesta incondicionada cuando el EI es precedido por el EC.

El término DCRI fue originalmente adoptado por Kimble y Ost (1961), quienes evaluaron distintos intervalos entre estímulos y concluyeron que existía un intervalo óptimo con el cual era posible observar RC más robustas y RI disminuidas, siempre y cuando el EI fuese precedido por un EC. Hipotetizaron que esta disminución en la respuesta de parpadeo estaba controlada por el estímulo y sería una forma de inhibición condicionada. Desde entonces, el fenómeno ha sido observado en distintas especies y situaciones experimentales, tales como la respuesta galvánica de la piel en humanos (Baxter, 1966; Kimmel & Pennypacker, 1962; Marcos & Redondo, 2002; Redondo & Mar-

cos, 2000), la respuesta de parpadeo en conejos y humanos (Canli, Detmer & Donegan, 1992; Canli & Donegan, 1995; Hupka, Kwaterski & Moore, 1970) y en la respuesta de aceleración cardíaca en humanos (Marcos & Redondo, 2001; Redondo & Marcos, 2003) y perros (Fitzgerald, 1966).

Wagner y sus colaboradores (Wagner, 1976, 1978, 1981; Wagner & Vogel, 2010) sostienen que la Disminución Condicionada de la Respuesta Incondicionada (DCRI) es un fenómeno de *priming*, según el cual los estímulos predichos o anticipados tienden a ser procesados con menor efectividad que cuando son inesperados. En el condicionamiento clásico el EI pierde efectividad debido a que es anticipado o predicho por el EC. De acuerdo con este enfoque, el EC genera el pre-procesamiento del EI y contribuye a su pérdida de efectividad al momento de la estimulación.

Existen al menos cuatro estudios que demuestran diferentes vías por las cuales hay una disminución del procesamiento de un EI esperado. Terry y Wagner (1975) demostraron que un EI anticipado fue menos retenido en la memoria sobre un intervalo de trazo comparado con un EI no predicho por un estímulo discriminativo. Wagner, Rudy y Whitlow (1973) demostraron que un EI esperado fue menos efectivo como distractor que un EI inesperado. Un tercer hallazgo se deriva de las variaciones del efecto de bloqueo propuesto por Kamin (1969), quien demostró que un EI esperado pierde efectividad como reforzador de otro EC.

La cuarta demostración es un ejemplo típico de la DCRI y puede encontrarse en una serie de experimentos realizados por Donegan (1981) en el condicionamiento de parpadeo en conejos. Estos experimentos comienzan con una fase de entrenamiento discriminativo con un EC correlacionado con la presencia del EI (EC+) y otro EC correlacionado con su ausencia (EC-). Posteriormente, en una fase de prueba, se evalúa la amplitud de la RI en ensayos en los cuales el EI es precedido por un EC+ o por un EC-. Los resultados indicaron que la respuesta incondicionada fue significativamente

menor en los ensayos precedidos por EC+ que por EC-. Esto se debe a que la respuesta condicionada al estímulo EC+ fue un cierre del párpado anticipatorio, que imita a la RI y termina por sumarse con la respuesta generada por el EI. Adicionalmente, Donegan (1981) probó a sus animales con intensidades más bajas del EI que en el entrenamiento. Los resultados de la fase de prueba demostraron que a intensidades más bajas el EC+ facilita la respuesta de parpadeo al momento del EI, en cambio a una mayor intensidad el EC+ disminuye la respuesta de parpadeo.

A partir de sus resultados, Donegan (1981) concluyó que el EC tenía dos formas opuestas de influir en la magnitud de la RI. La primera tendencia de carácter aumentativo se presentó cuando los estímulos fueron probados con un EI de baja intensidad y la segunda de carácter diminutivo fue evidente con un EI de alta intensidad. Naturalmente ambos efectos actuarían simultáneamente, lo cual hace que las condiciones en que se observa *priming* de uno u otro requieran de diseños experimentales extremadamente sensibles.

En consecuencia, el presente estudio pretende demostrar estas influencias asociativas del EC sobre la RI, a partir de la estrategia experimental propuesta por Donegan (1981), pero utilizando el procedimiento de condicionamiento palpebral en humanos. Esta consiste en un entrenamiento de condicionamiento discriminativo en el cual se presenta un estímulo emparejado con el estímulo incondicionado (EC+) y uno no emparejado (EC-), que en una posterior fase de prueba, son ensayados en condiciones de alta y baja intensidad del estímulo incondicionado. De acuerdo con los hallazgos de Donegan (1981), se espera que la magnitud de la respuesta incondicionada a un EI de alta intensidad sea menor cuando el EI es precedido por el estímulo EC+ que cuando es precedido por el estímulo EC-. Por otra parte, se espera que la magnitud de la respuesta incondicionada a un EI de baja intensidad sea mayor cuando el EI es precedido por el estímulo EC+ que cuando es precedido por el estímulo EC-.

Método

Participantes

Un total de 17 estudiantes de la Universidad de Talca participaron voluntariamente en el estudio, correspondientes a nueve hombres y ocho mujeres cuyas edades fluctuaron entre los 19 a 24 años. Estos firmaron un consentimiento informado aprobado por el Comité de Ética de la Universidad de Talca.

Aparatos

Las sesiones experimentales se realizaron en una habitación acústicamente aislada (2.5 x 2.8 x 2.4 metros) y tenuemente iluminada mediante lámparas fluorescentes de 18 *watts*, ubicada en el laboratorio de Psicología de la Universidad de Talca. Los participantes ingresaron a la habitación y se sentaron en un sillón. El sistema *Eyeblink Conditioning System* (San Diego Instruments Inc., San Diego, CA) fue utilizado para configurar la sesión de entrenamiento, la presentación de estímulos y la medición de la amplitud de la respuesta palpebral.

Los participantes del estudio recibieron como estímulo incondicionado, uno táctil consistente en un sople de aire en el contorno del ojo generado por un compresor de aire calibrado en intensidad mediante un medidor de presión y administrado por medio de un cintillo con un tubo de aire, cuya intensidad fue de 9 libras por pulgada cuadrada (*psi*) con una duración de 100 milisegundos. La intensidad del sople de aire se describe en términos de presión, definido como la cantidad de fuerza por unidad de área de presión, la cual es reportada en *psi*. Como estímulos condicionados, un tono de 65 dB administrado por medio de audífonos MAICO y una vibración de 30 Hz con una duración de 500 milisegundos en cada caso. Respecto de la vibración, esta fue aplicada por medio de un masajeador instalado en el sillón en el cual se sentaban los participantes.

La respuesta palpebral fue medida por medio de un sensor infrarrojo colocado frente al ojo derecho de los participantes y sujetado por un cintillo que permitía mantener fija la posición del sensor independiente de los cambios posturales. La respuesta de parpadeo produce una interrupción en la emisión infrarroja, la que se traduce en cambios en el voltaje transmitido por el sensor. Se registró el valor de voltaje con una frecuencia de 1 muestra por cada 1 milisegundo. Con el fin de tener una medida de una respuesta de parpadeo típica, se realizó un ensayo de estandarización con un voluntario no entrenado. El valor de voltaje máximo obtenido con este participante fue considerado como una respuesta de amplitud 100%. Las respuestas máximas de cada participante durante el ensayo fueron expresadas como un porcentaje de este valor.

Durante los 200 milisegundos que anteceden a la presentación del EC se registraron los voltajes en ausencia de estimulación (línea base). El periodo correspondiente a las respuestas alfa (α) abarcó desde el momento de la aparición del EC hasta los 300 milisegundos, por su parte, la respuesta condicionada (RC) fue registrada desde los 300 milisegundos desde la aparición del EC hasta la presentación del EI (600 milisegundos) y la respuesta incondicionada (RI) fue medida desde la aparición del EI hasta los 800 milisegundos del ensayo. En los ensayos, en los cuales se presentó el EC emparejado con el EI (EC+) se consideró un intervalo entre estímulos de 400 milisegundos.

Se consideró como un ensayo válido, aquella respuesta palpebral con una amplitud inferior al 20% obtenido, en ausencia de estimulación (línea base) y una amplitud inferior al 5% durante el periodo de la respuesta alfa. Por su parte, en los ensayos válidos, se consideró como respuesta condicionada la que superó una amplitud del 5% en el periodo correspondiente. De igual modo, se consideró como respuesta incondicionada toda respuesta que superó una amplitud del 5% en el periodo correspondiente.

Procedimiento

La sesión experimental consideró tres etapas: preparación, adaptación y entrenamiento-prueba. La tarea en conjunto tuvo una duración de 90 minutos aproximadamente. En la etapa de preparación, los participantes leyeron y firmaron un consentimiento informado y tuvieron la posibilidad de consultar sobre cualquier aspecto comprometido en el experimento. Posteriormente, el experimentador colocó los audífonos y el cintillo con el sensor infrarrojo y tubo de aire en la cabeza de los participantes. En ese momento, se les solicitó a los participantes que parpadearan repetidamente con el fin de obtener una respuesta de parpadeo detectable. Además, se les dio la instrucción de prestar atención a la película *Gold Rush*, de 90 minutos de duración aproximadamente, enfatizando que, luego de finalizada la sesión experimental, se les preguntaría sobre esta. Con esto se pretendió controlar la incidencia de respuestas voluntarias que pudiesen contaminar la medición fidedigna de la respuesta condicionada (Clark & Squire, 1999). En la etapa de adaptación, el experimentador cerró la cámara experimental y los participantes fueron sometidos a un periodo de 5 minutos sin estimulación, con el fin de que pudiesen adaptarse al contexto, al dar inicio a la presentación de la película. Luego, se ejecutó la siguiente fase desde el computador.

En la etapa de entrenamiento-prueba los participantes recibieron primero un total de 132 ensayos, de los cuales 66 ensayos correspondían al EC+ que co-termina con el EI, entremezclados con 66 del estímulo EC- por sí solo. El intervalo entre ensayos varió aleatoriamente entre 15, 20 y 25 segundos. Al finalizar este entrenamiento, los participantes recibieron una serie de ensayos de prueba, en los que se examinó la RI a estímulos incondicionados de alta (9 *psi*) y baja (3 *psi*) intensidad cuando eran precedidos por el EC+ o EC-. Cada tipo de ensayo de prueba se repitió 8 veces, en total fueron 32 ensayos de prueba. De esta manera, la fase de entrenamiento-prueba contó con un total de 132 ensayos

de entrenamiento (66 ensayos de EC+ y 66 ensayos de EC-) y 32 ensayos de prueba (8 de cada tipo). Tanto los ensayos de entrenamiento como los de prueba fueron presentados en orden pseudo-aleatorio, el cual varió entre los participantes. Para 9 de los participantes el estímulo EC+ fue el tono y el estímulo EC- la vibración, mientras que para los 8 restantes, la naturaleza de los estímulos se invirtió (es decir EC+ = Vibración y EC- = Tono). Una vez finalizada la fase de entrenamiento-prueba se formularon las preguntas sobre la película.

Análisis estadísticos

Con el fin de examinar si hubo condicionamiento producto de la asociación de los estímulos y no a la mera exposición al estímulo incondicionado, los 66 ensayos de condicionamiento con cada estímulo se agruparon en 6 bloques de 11 ensayos en los cuales se calculó la amplitud de la respuesta condicionada. Para evaluar la significación estadística de los efectos del experimento se realizó un ANOVA de medidas repetidas de 2 (Estímulos: EC+ y EC-) X 6 (Bloque de entrenamiento: bloque 1, bloque 2, ..., bloque 6) utilizando la amplitud de la respuesta condicionada de parpadeo como variable dependiente. Si la interacción estímulo x bloque resulta significativa, se examinan los efectos simples de la variable estímulo en cada bloque con la prueba post-hoc *Least Significant Difference* (LSD).

Por otro lado, con el fin de examinar los efectos del condicionamiento sobre la respuesta incondicionada, se calculó la amplitud promedio de la respuesta incondicionada en los ensayos de prueba. La significación estadística de los efectos de interés se examinó por medio de un ANOVA de medidas repetidas de 2 (Estímulo: EC+ y EC-) X 2 (Intensidad del EI: baja y alta) utilizando la amplitud de la respuesta incondicionada de parpadeo como variable dependiente. Si la interacción estímulo x intensidad resulta significativa, se examinan los efectos simples de la variable estímulo en cada intensidad con la prueba post-hoc LSD.

Resultados

La figura 1 presenta la amplitud media de la respuesta condicionada de parpadeo según los estímulos (EC+ y EC-) en el curso del entrenamiento. Se observa que el estímulo emparejado con el estímulo incondicionado (EC+) muestra cambios progresivos de la amplitud de la respuesta condicionada, que aumenta hasta alcanzar asíntota. Por el contrario, se observa que el estímulo que se presentó por sí solo (EC-) inicialmente aumenta en amplitud de la respuesta condicionada, probablemente debido a la generalización de EC+ a EC-, pero posteriormente disminuye progresivamente lográndose la discriminación.

El ANOVA de medidas repetidas arroja un efecto principal de bloque de entrenamiento, $F(5, 80) = 3.357$; $p = .008$; η^2 parcial = .173, y estímulos, $F(1, 16) = 6.131$; $p = .025$; η^2 parcial = .277, y efecto de interacción entre bloque y estímulos, $F(5, 80) = 3.314$; $p = .009$; η^2 parcial = .172). El efecto bloque revela que existen cambios progresivos de

la amplitud de la respuesta condicionada en el curso del entrenamiento y el efecto estímulos, que la amplitud de la respuesta condicionada es mayor al estímulo EC+ que a EC-. El efecto de interacción estímulos x bloques revela que en determinados bloques del entrenamiento existen diferencias en la amplitud de la respuesta condicionada entre los estímulos EC+ y EC-.

Dado que la interacción estímulos x bloques fue significativa, se examinaron los efectos simples, los cuales revelaron que en el primer bloque ($p = .692$) no existen diferencias en la amplitud de la respuesta condicionada al estímulo EC+ en comparación con el EC-. En el segundo bloque existen diferencias marginalmente significativas ($p = .079$) y en los restantes bloques existen diferencias estadísticamente significativas que evidencian una mayor respuesta condicionada al estímulo EC+ que a EC- ($ps < .028$).

Debido a que hubo condicionamiento discriminativo de la RC, se concluye que se produjo una asociación entre el EC y el EI que no se debe a la

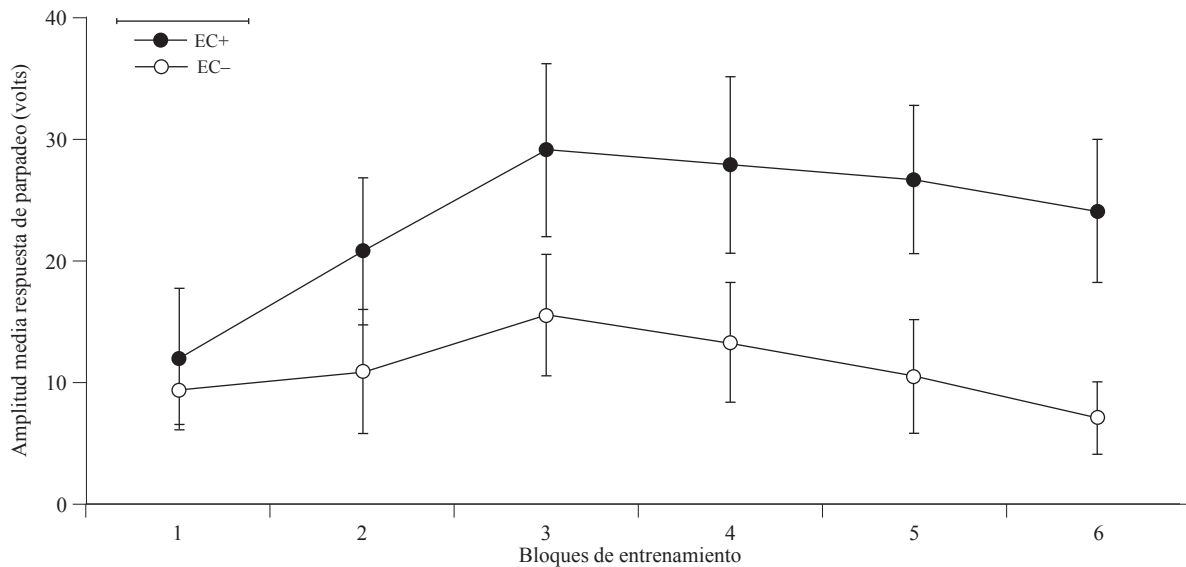


Figura 1. Amplitud media de la respuesta condicionada de parpadeo según el estímulo entrenado (EC+ y EC-) en el curso del entrenamiento

Nota: Las barras de error representan el error estándar de la media.

mera exposición de los estímulos condicionados e incondicionados o pseudo-condicionamiento (Rescorla, 1967).

Los datos de mayor interés se presentan en la figura 2, la cual muestra la amplitud de la RI en los distintos tipos de ensayos de prueba para cada estímulo entrenado (EC+ y EC-). Se observa una menor amplitud de la respuesta incondicionada al estímulo EC+ en comparación con el EC- cuando son probados con un EI de alta intensidad (9 *psi*), mientras que cuando son probados con un EI de baja intensidad (3 *psi*), se observa una mayor amplitud de la respuesta incondicionada al estímulo EC+ en comparación con el EC-.

El ANOVA de medidas repetidas de 2 (Estímulo: EC+ y EC-) X 2 (Intensidad del EI: baja y alta) arrojó efecto principal de intensidad, $F(1, 16) = 17.569; p = .001; \eta^2 \text{ parcial} = .523$, pero no hubo efecto principal de estímulos ($p = .405$). Además, reveló el efecto de interacción entre estímulos e intensidad, $F(1, 16) = 11.630; p = .004; \eta^2 \text{ parcial} = .421$. El efecto intensidad revela que hubo una mayor amplitud de la respuesta incondicionada a

un EI de alta intensidad (9 *psi*) en comparación con uno de baja intensidad (3 *psi*), por su parte, la ausencia del efecto estímulos, indica que no existen diferencias en la amplitud de la respuesta incondicionada al estímulo EC+ en comparación con EC-. El efecto de interacción entre estímulos x intensidad revela que existen diferencias en la amplitud de la respuesta incondicionada que varían según el estímulo y la intensidad del EI con el cual fueron probados los participantes del estudio.

Dado que la interacción fue significativa se examinaron los efectos simples, los cuales confirman las observaciones ya que revelaron que hubo una mayor amplitud de la respuesta incondicionada al estímulo EC+ en comparación a EC- cuando fueron probados con un EI de baja intensidad ($p = .012$), mientras que cuando fueron probados con un EI de alta intensidad, contrario a lo esperado, no hubo diferencias estadísticamente significativas entre los estímulos ($p = .167$).

En conclusión, en el presente estudio se demostró que el EC adquiere la propiedad para producir una RC, sin embargo, no existen diferencias esta-

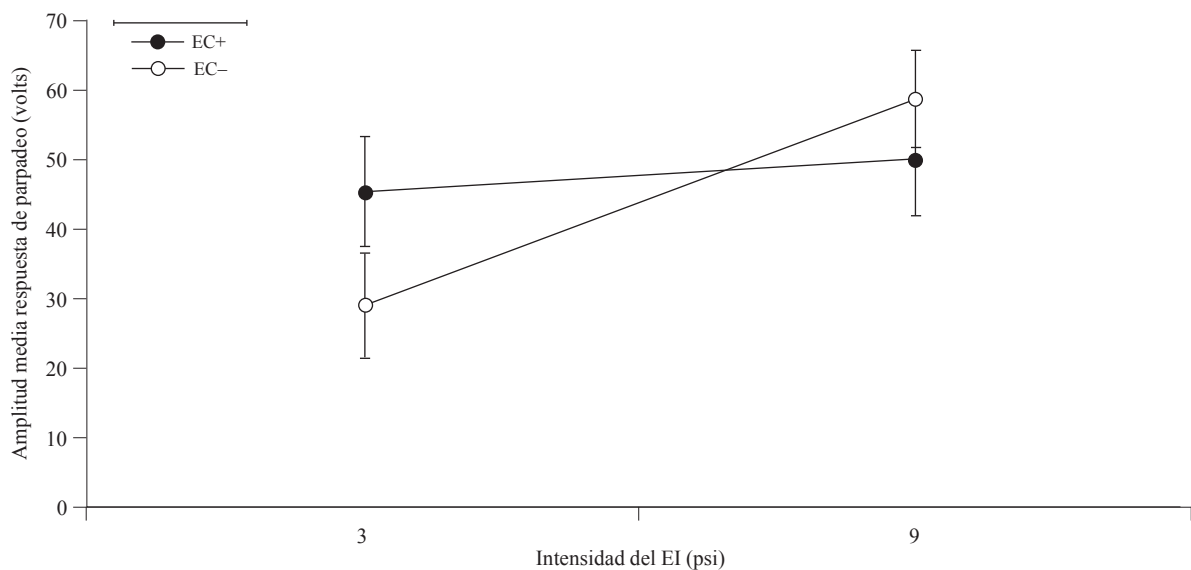


Figura 2. Amplitud media de la respuesta incondicionada de parpadeo según los estímulos (EC+ y EC-) probados con un estímulo incondicionado de baja y alta intensidad (3 y 9 *psi* respectivamente)

Nota: Las barras de error representan el error estándar de la media.

dísticamente significativas en la magnitud de la RI cuando el EC es presentado en conjunto con un EI de alta intensidad.

Discusión

Los resultados de la presente investigación no son concluyentes para determinar que un estímulo capaz de desarrollar una respuesta condicionada interfiere en la generación de la respuesta incondicionada del estímulo incondicionado. En primer lugar, el resultado más evidente del proceso de condicionamiento palpebral es la generación por parte del EC de una respuesta condicionada de parpadeo anticipatoria, que termina por sumarse con la respuesta generada por el EI cuando este ocurre. Esto se observó en la fase de prueba, donde la amplitud de la RI fue mayor al estímulo EC+ que a EC- cuando ambos fueron emparejados con un EI de baja intensidad. En segundo lugar, a diferencia del estudio de Donegan (1981) no existe evidencia concluyente para determinar que el EC adquiere la propiedad de generar una disminución en el procesamiento del EI a medida que progresa el aprendizaje, puesto que en la fase de prueba, contrario a lo esperado, no hubo diferencias en la amplitud de la RI entre los estímulos condicionados presentados en conjunto con un EI de alta intensidad.

El procedimiento seguido por Donegan (1981) y por la presente investigación permite descartar explicaciones alternativas con las cuales se podría cuestionar si el efecto de facilitación observado es producto del condicionamiento. Por ejemplo, se ha demostrado que la mera repetición de un estímulo biológicamente significativo y con valencia emocional, como lo es el soplo de aire en el ojo, puede producir un estado de sensibilización que conduce a un aumento generalizado en los niveles de respuesta a cualquier estímulo. Si este fuera el caso, el aumento en las respuestas de parpadeo a un estímulo condicionado podría ser el resultado de lo que se ha denominado pseudo-condicionamiento (Rescorla, 1967). Sin embargo, esta posibilidad fue

controlada a partir de un entrenamiento discriminativo en el cual un estímulo condicionado se presenta en conjunto con el estímulo incondicionado (EC+) mientras que otro estímulo se presenta por sí solo (EC-). En este procedimiento, el estímulo EC- recibe exactamente el mismo tratamiento que EC+, excepto que se presente explícitamente no pareado con el EI. De este modo, en caso de existir condicionamiento, esto debería reflejarse en una mayor frecuencia y amplitud de las respuestas de parpadeo provocadas por el estímulo EC+ que las provocadas por el estímulo EC-, tal como se demostró en el estudio de Donegan (1981) y en la presente investigación.

Por otra parte, es necesario reconocer que una de las complicaciones que surgen al analizar cualquier tendencia a la disminución de la respuesta incondicionada de un estímulo aversivo, como lo son generalmente los estímulos incondicionados, es que el EC que se asocia con este puede producir una respuesta emocional que potencia una amplia gama de conductas defensivas (Bombace, Brandon & Wagner, 1991; Brandon, Bombace, Falls & Wagner, 1991; Brandon & Wagner, 1991). Por ejemplo, Brandon, Betts y Wagner (1994) demostraron que los estímulos condicionados, tanto explícitos como contextuales, que se asocian con estímulos incondicionados aversivos, pueden actuar como potenciadores de otras respuestas reflejas que no se habían considerado en los episodios de condicionamiento. Sin embargo, esto no se puede observar debido a que ambas tendencias se confunden.

De acuerdo con esto, la presencia de estas respuestas emocionales generalizadas pudo complicar la observación del fenómeno de la DCRI en el presente estudio, ya que una aparente ausencia de disminución puede ser el resultado de una combinación entre potenciación y disminución. Por ejemplo, Brandon, Bell y Wagner (Wagner & Vogel, 2010), sirviéndose del hecho de que la respuesta condicionada de parpadeo en conejos es altamente lateralizada, idearon una estrategia experimental para separar estos efectos. Con esta

ventaja, es posible evaluar la DCRI, no solo comparando la respuesta al EI cuando es precedido por el EC cuando no es precedido por el EC, sino que también cuando el EI es precedido por un EC que fue asociado con un EI sensorialmente diferente (por ejemplo el otro ojo) pero que genera las mismas respuestas emocionales generalizadas que el otro EC. El experimento constó de una fase inicial, en la cual un EC D fue emparejado con un EI táctil aplicado en el ojo derecho (D+), otro EC I fue emparejado con el mismo EI pero aplicado en el ojo izquierdo (I+) y un tercer estímulo X fue presentado por sí solo. Posteriormente, se realizó una serie de pruebas destinadas a comparar la magnitud de la respuesta incondicionada cuando el EI era precedido por el mismo EC usado en el entrenamiento, el EC alternativo y el EC neutral. El primer hallazgo replica los resultados típicos de DCRI, ya que las respuestas al EI fueron menores cuando este era precedido por el mismo estímulo con el cual se hizo el emparejamiento (D o I dependiendo del ojo de aplicación del EI en la prueba) que cuando era precedido por el estímulo neutral X. Otro hallazgo de este estudio fue que esta diferencia contiene una subestimación de la DCRI. Esto último, porque la amplitud de la RI cuando el EI es precedido por el estímulo que fue emparejado con el ojo alternativo fue mayor que cuando era precedido por el estímulo neutral. Con este último resultado, uno podría suponer que existe una respuesta emocional condicionada que potencia la RI sensorial. Para que esta potenciación de la RI ocurra, basta con la presentación de cualquier EC, independientemente de la concordancia en la localización del EI entre el entrenamiento y la prueba. Naturalmente, cuando se prueba el mismo EI utilizado en el entrenamiento, los efectos emocionales potenciadores se oponen a los efectos decrementales sensoriales producidos por el EC.

Brandon et al. (Wagner & Vogel, 2010) realizaron otros experimentos similares pero utilizando ECs progresivamente más largos con el fin de

evaluar si estos efectos se repiten con estímulos del tipo contextual. Nuevamente se obtuvieron tendencias potenciadoras generalizadas causadas por los estímulos del tipo contextual pero no siempre hubo evidencia de DCRI al comparar las respuestas al EI precedido por el EC aplicado al mismo ojo con las respuestas al EI precedido por el EC neutral. Sin embargo, la potenciación fue consistentemente menor cuando el EI era precedido por el EC aplicado al mismo ojo que al ojo alterno, lo cual estaría proporcionando evidencia indirecta de disminución.

Wagner y Vogel (2010) esbozaron una explicación cuantitativa de este dilema basada en los modelos SOP (Wagner, 1981) y su extensión AE-SOP (Wagner & Brandon, 1989), según la cual las respuestas condicionadas e incondicionadas sensoriales pueden ser influenciadas por asociaciones emotivas. Los supuestos son los siguientes:

1. Cada vez que se presenta conjuntamente un estímulo conductualmente neutral, por ejemplo, un tono de baja intensidad y un estímulo biológicamente significativo, como un fuerte soplo de aire en el contorno del ojo, se establece una asociación entre el tono, que actuaría como estímulo condicionado (EC) y el soplo de aire que actuaría como estímulo incondicionado (EI).
2. Según el modelo SOP, tanto el EC como el EI activan un par de unidades de procesamiento: una unidad primaria seguida por una unidad secundaria que recurrentemente inhibe a la primaria. Una vez que se presenta el estímulo correspondiente (tono o soplo de aire) y durante cada momento de su duración, la unidad primaria respectiva es activada, lo cual provoca la respuesta y la activación de la unidad secundaria respectiva. Una vez que es activada, la unidad secundaria recurrentemente inhibe a la primaria, dejándola temporalmente menos susceptible de ser activada por el estímulo. Con el paso del tiempo, la actividad secundaria decae, liberándose a la unidad primaria de la inhibición.

3. El modelo asume que el EC y el EI desarrollan una asociación excitatoria en la medida que el grado de activación simultánea de sus respectivas unidades primarias es sustancialmente más grande que el grado de activación primaria del EC coincidente con la activación secundaria del EI.
 4. Si la asociación que se forma entre el EC (tono) y el EI (soplo de aire) es excitatoria, entonces el tono adquiere la capacidad, por medio de su actividad primaria, para generar asociativamente actividad secundaria en el soplo de aire, aún cuando este último no se encuentre presente. Según esto, la respuesta condicionada (RC) es una función del grado de actividad primaria del tono, y de la fuerza de la conexión entre esta unidad y la actividad secundaria del soplo de aire.
1. Ya que el mismo estímulo incondicionado, por ejemplo un fuerte soplo de aire en el contorno del ojo es capaz de provocar una respuesta de parpadeo y, al mismo tiempo, una respuesta emocional como el miedo, el modelo debe asumir que la presentación del estímulo provoca la activación de dos pares de unidades de procesamiento, una para cada respuesta. Esto es consistente con lo planteado por Wagner y Brandon (1989), quienes señalan que los estímulos incondicionados deberían representarse por medio de unidades sensoriales y emotivas, donde cada una establecería asociaciones independientes con el estímulo condicionado (tono).
 2. Se asume que aunque la asociación del tono con las respuestas sensorial y emotiva sigue las mismas reglas de SOP, hay importantes diferencias paramétricas en el curso temporal de ambas respuestas. Wagner y Vogel (2010) enfatizaron que la diferencia más notable es que el procesamiento emotivo es mucho más lento que el procesamiento sensorial, lo cual le otorga una mayor duración a la actividad primaria emotiva y, por consiguiente, una mayor probabilidad de asociación con estímulos condicionados de larga duración (o estímulos designados como contextuales).

De acuerdo con este mecanismo, el modelo SOP explicaría la facilitación condicionada como una respuesta condicionada anticipatoria que termina por sumarse a la respuesta incondicionada. Esta tendencia es más notoria cuando en la fase de prueba se presenta un EI de intensidad menor (3 *psi*) que aquella que se utilizó en el entrenamiento, ya que la respuesta condicionada sería mayor que la incondicionada producida por el EI débil. Dado que la actividad secundaria del soplo de aire inhibe recurrentemente su propia actividad primaria, la presencia del tono produce una disminución en la respuesta incondicionada (RI) del soplo de aire (Donegan & Wagner, 1987). Esta tendencia es más notoria cuando se utiliza un EI de alta intensidad (9 *psi*), puesto que es más fácil observar decrementos cuando la RI se encuentra a niveles elevados. Hasta este punto, la predicción del modelo es que la DCRI es una consecuencia del condicionamiento. Con el fin de explicar el hecho de que existan respuestas emocionales que pudieron oscurecer la observación de la DCRI en el presente estudio Wagner y Vogel (2010) apelan a los siguientes supuestos adicionales:

De acuerdo con este análisis, es factible esperar que la DCRI pudiera ser oscurecida por los efectos emocionales que potencian las respuestas sensoriales controladas por un mismo estímulo. A partir de los datos de Brandon et al. (Wagner & Vogel, 2010), resulta natural especular que aquellos estudios que no han observado disminución de la respuesta incondicionada no hayan sido lo suficientemente sensitivos para separar estos efectos decrementales y potenciadores, y además no hayan considerado la posibilidad de que esos efectos pueden existir aun cuando el resultado conductual final sea una repuesta potenciada. Esto invita a evaluar más sistemáticamente los fenómenos y diseños de los

experimentos con resultados negativos como en el presente estudio.

Referencias

- Baxter, R. (1966). Diminution and recovery of the UCR in delayed and trace classical GSR conditioning. *Journal of Experimental Psychology*, *71*(3), 447-451. doi: 10.1037/h0022977
- Bombace, J., Brandon, S., & Wagner, A. (1991). Modulation of a conditioned eyeblink response by a putative emotive stimulus conditioned with hindleg shock. *Journal of Experimental Psychology: Animal Behavior Processes*, *17*(3), 323-333. doi: 10.1037/0097-7403.17.3.323
- Bracha, V., Zhao, L., Wunderlich, D., Morrissy, S., & Bloedel, J. (1997). Patients with cerebellar lesions cannot acquire but are able to retain conditioned eyeblink reflexes. *Brain*, *120*, 1401-1413. doi: 10.1093/brain/120.8.1401
- Brandon, S., Betts, S., & Wagner, A. (1994). Discriminated lateralized eyeblink conditioning in the rabbit: An experimental context for separating specific and general associative influences. *Journal of Experimental Psychology: Animal Behavior Processes*, *20*, 292-307. doi: 10.1037/0097-7403.20.3.292
- Brandon, S., Bombace, J., Falls, W., & Wagner, A. (1991). Modulation of unconditioned defensive reflexes via an emotive Pavlovian conditioned stimulus. *Journal of Experimental Psychology: Animal Behavior Processes*, *17*, 312-322. doi: 10.1037/0097-7403.17.3.312
- Brandon, S., & Wagner, A. (1991). Modulation of a discrete Pavlovian conditioning reflex by a putative emotive Pavlovian conditioned stimulus. *Journal of Experimental Psychology: Animal Behavior Processes*, *17*(3), 299-311. doi: 10.1037/0097-7403.17.3.299
- Canli, T., Detmer, W., & Donegan, N. (1992). Potentiation or diminution of discrete motor unconditioned responses (rabbit eyeblink) to an aversive pavlovian unconditioned stimulus by two associative processes: Conditioned fear and conditioned diminution of unconditioned stimulus processing. *Behavioral Neuroscience*, *106*(3), 498-508. doi: 10.1037/0735-7044.106.3.498
- Canli, T., & Donegan, N. (1995). Conditioned diminution of the unconditioned response in rabbit eyeblink conditioning: Identifying neural substrates in the cerebellum and brainstem. *Behavioral Neuroscience*, *109*(5), 874-892. doi: 10.1037/0735-7044.109.5.874
- Clark, R., & Squire, L. (1999). Human eyeblink classical conditioning: Effects of manipulating awareness of the stimulus contingencies. *Psychological science*, *10*(1), 14-18. doi: 10.1111/1467-9280.00099
- Christian, K., & Thompson, R. (2003). Neural substrates of eyeblink conditioning: Acquisition and retention. *Learning & Memory (Cold Spring Harbor, N.Y.)*, *10*, 427-455. doi: 10.1101/lm.59603
- Daum, I., Schugens, M., Ackermann, H., Lutzenberger, W., Dichgans, J., & Birbaumer (1993). Classical conditioning after cerebellar lesions in humans. *Behavioral Neuroscience*, *5*, 748-756. doi: 10.1037/0735-7044.107.5.748
- Donegan, N. (1981). Priming-produced facilitation or diminution of responding to a Pavlovian unconditioned stimulus. *Journal of Experimental Psychology: Animal Behavior Processes*, *7*, 295-312. doi: 10.1037/0097-7403.7.4.295
- Donegan, N., & Wagner, A. (1987). Conditioned diminution and facilitation of the UR: A sometimes opponent-process interpretation. En I. Gormezano, W. Prokasy, & R. Thompson (Eds.), *Classical Conditioning* (pp. 339-369). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Fanselow, M., & LeDoux, J. (1999). Why we think plasticity underlying Pavlovian fear conditioning occurs in the basolateral amygdala. *Neuron*, *23*, 229-232. doi: 10.1016/S0896-6273(00)80775-8
- Fitzgerald, R. D. (1966). Some effects of partial reinforcement with shock on classically condi-

- tioned heart rate in dogs. *American Journal of Psychology*, 79, 242-249. doi: 10.2307/1421130
- Gormezano, I., Schneiderman, N., Deux, E., & Fuentes, I. (1962). Nictitating membrane: Classical conditioning and extinction in the albino rabbit. *Science*, 138(3536), 33-34. doi: 10.1126/science.138.3536.33
- Hupka, R., Kwaterski, S., & Moore, J. (1970). Conditioned diminution of the UCR: differences between the human eyeblink and the rabbit nictitating membrane response. *Journal of Experimental Psychology*, 85(1), 45-51. doi: 10.1037/h0028584
- Kamin, L. J. (1969). Predictability, surprise, attention and conditioning. En B. A. Campbell & R.M. Church (Eds.), *Punishment and aversive behavior* (pp. 279-296). New York: Appleton Century Crofts.
- Kimble, G., & Ost, J. (1961). A conditioned inhibitory process in eyelid conditioning. *Journal of Experimental Psychology*, 83, 45-51. doi: 10.1037/h0044932
- Kimmel, H., & Pennypacker, H. (1962). Conditioned diminution of the unconditioned response as a function of the number of reinforcements. *Journal of Experimental Psychology*, 64(1), 20-23. doi: 10.1037/h0045327
- Lanuz, E., Moncho-Bogani, J., & LeDoux, J. (2008). Unconditioned stimulus pathways to the amygdala: Effects of lesions of the posterior intralaminar thalamus on foot-shock-induced c-Fos expression in the subdivisions of the later amygdala. *Neuroscience*, 155, 959-968. doi: 10.1016/j.neuroscience.2008.06.028
- Marcos, J., & Redondo, J. (2001). Relation between conditioned stimulus-elicited responses and unconditioned response diminution in long-interval human heart-rate classical conditioning. *The Spanish Journal of Psychology*, 4(1), 11-18. doi: 10.1017/S1138741600005606.
- Marcos, J., & Redondo, J. (2002). Differential effects of expectancy and associative mechanisms on diminution of unconditioned response in electrodermal classical conditioning. *Psicothema*, 14(2), 375-381. Recuperado de <http://www.psicothema.com/pdf/735.pdf>
- Mauk, M., Medina, J., Nores, W., & Ohyama, T. (2000). Cerebellar function: coordination, learning or timing? *Current Biology*, 10, 522-525. doi: 10.1016/S0960-9822(00)00584-4
- Pavlov, I. (1927). *Conditioned reflexes*, (G.V. Anrep, Trans.). London: Oxford University Press.
- Redondo, J., & Marcos, J. (2000). Efecto de la interferencia de respuesta sobre la disminución de la respuesta electrodérmica incondicionada. *Psicothema*, 12(1), 125-129. Recuperado de <http://www.psicothema.com/pdf/263.pdf>
- Redondo, J., & Marcos, J. (2003). Effects of CS-US interval on unconditioned response diminution in human heart rate classical conditioning. *Journal of Psychophysiology*, 17, 30-38. doi: 10.1027//0269-8803.17.1.30
- Rescorla, R. (1967). Pavlovian conditioning and its proper control procedures. *Psychological Review*, 74(1), 71-80. doi:10.1037/h0024109
- Sanderson, D., Pearce, J., Kyd, R., & Aggleton, J. (2006). The importance of the rat hippocampus for learning the structure of visual arrays. *The European Journal of Neuroscience*, 24, 1781-1788. doi: 10.1111/j.1460-9568.2006.05035.x
- Schugens, M., & Daum, I. (1999). Long-term retention of classical eyeblink conditioning in amnesia. *NeuroReport*, 10, 149-152. doi: 0.1097/00001756-199901180-00028
- Sears, L., Finn, P., & Steinmetz, J. (1994). Abnormal classical eye-blink conditioning in autism. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 24(6), 737-751. doi: 10.1007/BF02172283
- Siegel, S. (1975). Evidence from rats that morphine tolerance is a learned response. *Journal of Comparative and Physiological Psychology*, 89(5), 468-506. doi: 10.1037/h0077058
- Spence, K., & Ross, L. (1959). A methodological study of the form and latency of eyelid responses in conditioning. *Journal of Experimental Psychology*, 58(5), 376-381. doi: 10.1037/h0045837

- Steinmetz, J., Tracy, J., & Green, J. (2001). Classical eyeblink conditioning: Clinical models and applications. *Integrative Physiological and Behavioral Science*, 36(3), 220-238. doi: 10.1007/BF02734095
- Terry, W. S., & Wagner, A. R. (1975). Short-term memory for “surprising” vs. “expected” unconditioned stimuli in Pavlovian conditioning. *Journal of Experimental Psychology: Animal Behavior Processes*, 1, 122-133. doi: 10.1037/0097-7403.1.2.122
- Thompson, R., Thompson, J., Kim, J., Krupa, D., & Shinkman, P. (1998). The nature of reinforcement in cerebellar learning. *Neurobiology of Learning and Memory*, 70, 150-176. doi: 10.1006/nlme.1998.3845
- Wagner, A. R. (1976). Priming in STM: An information-processing mechanism for self-generated or retrieval-generated depression in performance. En T. J. Tighe, & R. N. Leaton (Eds.), *Habituation: Perspectives from child development, animal behavior, and neurophysiology* (pp. 95-128). Erlbaum: Nueva York.
- Wagner, A. R. (1978). Expectancies and the priming of STM. En S. H. Hulse, H. Fowler, & W. K. Honig (Eds.), *Cognitive processes in animal behavior* (pp. 177-209). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Wagner, A. R. (1981). SOP: A model of automatic memory processing in animal behavior. En N. E. Spear & R. R. Miller (Eds.), *Information processing in animals: Memory mechanisms* (pp. 5-47). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Wagner, A., & Brandon, S. (1989). Evolution of a structured connectionist model of Pavlovian conditioning (AESOP). En S., Klein, & R., Mowrer (Eds), *Contemporary Learning Theories: Pavlovian Conditioning and the Status of Traditional Learning Theory*. Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Wagner, A., Rudy, J., & Whitlow, J. (1973). Rehearsal in animal conditioning. *Journal of Experimental Psychology*, 97, 407-426. doi: 10.1037/h0034136
- Wagner, A., & Vogel, E. (2010). Associative modulation of US processing: implications for understanding of habituation. En Schmajuk, N. (Ed.). *Computational Models of Conditioning* (pp. 150-185). Durham: Duke University Medical Center.
- Woodruff-Pak, D., Romano, S., & Papka, M. (1996). Training to criterion in eyeblink classical conditioning in alzheimer’s disease, down’s syndrome with Alzheimer’s disease, and Healthy Elderly. *Behavioral Neuroscience*, 110(1), 22-29. doi: 10.1037/0735-7044.110.1.22
- Woodruff-Pak, D., & Steinmetz, J. (2002). Past, present, and future of human eyeblink classical conditioning. En D. Woodruff-Pak & J. Steinmetz (Eds.), *Eyeblink classical conditioning: Volume I, applications in humans* (pp. 5-7). New York: Kluwer academic publishers.

Fecha de recepción: 13 de marzo de 2014
Fecha de aceptación: 13 de agosto de 2014

III

Cue-competition in fear potentiated startle conditioning in humans

1 **Jorge A. Pinto^a, Javier López-Calderón^b, Edgar H. Vogel^{a,*}**

2 (a) Universidad de Talca, Facultad de Psicología, Talca, Chile

3 (b) Universidad Autónoma de Chile, Facultad de Ingeniería, Talca, Chile

4 *** Correspondence:**

5 Edgar H. Vogel

6 evogel@utalca.cl

7 **Keywords:** Fear conditioning¹, fear potentiated startle², startle reflex³, selective learning⁴, cue
8 competition⁵, blocking⁶.

9 **Abstract**

10 It is well established that the magnitude of the startle reflex can be increased by presenting the startle-
11 evoking stimulus embedded within a cue previously paired with an aversive stimulus. Nonetheless,
12 this phenomenon, known as “fear-potentiated startle effect”, is still poorly known in humans since
13 most of the basic phenomena of conditioning have been largely studied in animal models. Here, in
14 two experiments, human participants were trained in a discrimination task, in which a stimulus A was
15 paired with a brief wrist shock, while another stimulus, B, was not (i.e., A+B-). In a subsequent test,
16 participants were assessed for startle by presenting an air-puff either alone or in the presence of the
17 trained stimulus. Departing from previous research, in our experiments stimuli A and B belonged to
18 different sensory modalities. In Experiment 1, evidence of discriminative learning between visual and
19 auditory cues was found in the form of a reliably greater startle to the air-puff in the presence of A
20 than in the presence of B, and in the absence of any cue. In Experiment 2, after A+B- training
21 (counterbalanced visual and vibrotactile cues), cues A and B were compounded with novel auditory
22 cues X and Y and reinforced (i.e., AX+BY+), which is the standard design for cue-competition. In
23 test, there was evidence of cue competition only in those participants in which A and B were the
24 visual and vibrotactile cues, respectively. In this subgroup, responding in the presence of the
25 redundant cue X was reliably lower than in the presence of Y, and not different from responding to
26 the air-puff alone, indicating that X was blocked by A. The results of Experiment 2 provide first
27 unequivocal evidence of selective learning in a fear conditioning procedure in humans. We speculate
28 that the absence of such an effect in the subgroup in which A was vibrotactile and B was visual might
29 be due to some unexpected generalization between vibrotactile and auditory cues.

30 **1 Introduction**

31 Emotional responses are critical for the survival of any animal. The majority of these responses are
32 innately modulated by specific stimuli, but importantly, they can also be learned. The conditioning of
33 fear is an example of this, where an emotionally neutral or conditioned stimulus (CS) is paired with a
34 fearful unconditioned stimulus (US). As a result, CS is able to provoke a central state of fear or
35 anxiety, which is inferred from several indicators, such as pupil dilation (e.g., Reinhard et al., 2006),
36 freezing (e.g., Blanchard and Blanchard, 1969), changes in heart rate (e.g., Smith et al., 2005) and
37 variation of skin conductance (e.g. Haesen et al., 2017). Apart from these direct measures,
38 researchers have also developed a number of procedures to indirectly measure conditioned fear. Two

39 of these paradigms have dominated research in the field: conditioned suppression and fear-
40 potentiated startle.

41 The conditioned suppression procedure was initially described by Estes and Skinner (1941)
42 who observed that rats, that have been trained to press a lever for food, showed a marked decrease in
43 the rate of lever-pressing when a light that had been previously paired with a footshock was
44 presented. Based on these findings, Annau and Kamin (1961) proposed an index of conditioned fear,
45 known as suppression ratio, which is computed as the number of lever presses occurring during the
46 CS divided by the sum of lever presses during the CS and during a prior baseline period. This method
47 has also been profusely applied to other behaviors, such as licking a water dispenser (rats and mice;
48 e.g. Mackintosh, 1975b), pecking a key for food (pigeons; Schwartz, 1976), or playing a video game
49 (humans; e.g., Arcediano et al., 1996).

50 On the other hand, the fear-potentiated startle paradigm was introduced by Brown et al. (1951),
51 who reported that the pairing of a light CS with a foot-shock US in rats resulted in an increase in the
52 amplitude of the startle reflex to a noise burst when the probe was conducted in the presence of the
53 light, relative to when the noise was presented alone. Subsequent variations in the procedure included
54 auditory CSs and an air-puff as the startle evoking stimulus (see Davis, 1990; 2001; Davis et al.,
55 1993; Lonsdorf et al., 2017). One of the greatest advantages of this method is that conditioned fear
56 can be investigated with very similar protocols in both nonhumans and humans (see, Grillon and
57 Bass, 2003; Fendt and Koch, 2013).

58 Conditioned suppression and fear-potentiated startle have become major models for
59 understanding the behavioral and neurological basis of conditioned fear in nonhuman animals. At the
60 behavioral level, it has been shown that fear conditioning conforms with most of the regularities of
61 Pavlovian conditioning, such as acquisition (Bouton and Bolles, 1980; Leaton and Cranney, 1990),
62 extinction (Bouton and Bolles, 1979; Myers and Davis, 2002), generalization (Armony et al., 1997),
63 discrimination (Myers and Davis, 2004), inhibition (Rescorla, 1969), and selective learning (Kamin,
64 1968, 1969; Mackintosh, 1975b; Wagner et al., 1968), among others. At the neurobiological level, it
65 is already a well-established fact that the amygdala and its underlying molecular and pharmacological
66 processes are directly involved in the acquisition and expression of conditioned fear (Hitchcock and
67 Davis, 2006; Davis, 2006; LeDoux, 2000).

68 Although much is now known on the neural and behavioral mechanisms of conditioned fear in
69 nonhuman animals, the applicability of this knowledge to humans remains somewhat understudied.
70 The interest in this topic, however, has been growing systematically due to the acknowledgment that
71 conditioned fear shares many similarities with the symptoms that are used to diagnose generalized
72 anxiety disorders in clinical populations (e.g., Ballard et al., 2014; Borelli et al., 2015; Grillon and
73 Bass, 2003; Lissek et al., 2005). The predominant choice in this incipient corpus of research with
74 humans has been the use of the fear-potentiated startle procedure and very simple training protocols
75 involving single cues. Thus, in this initial stage, researchers have directed their attention to examine
76 those conditions under which conditioned fear is acquired (e.g., Ameli and Grillon, 2001; Baas et al.,
77 2014; Lissek et al., 2005), extinguished (e.g., Kindt and Soeter, 2013; Linder et al., 2015) and
78 generalized to other stimuli (e.g., Lissek et al., 2008; Norrholm et al., 2014). Although doubtless these
79 findings are of translational value, it has been recognized that more complex designs, involving
80 training with several rather than single cues, are needed to progress in the understanding of the
81 hypothetical links between fear conditioning and anxiety disorders (Beckers et al., 2013; Boddez et
82 al., 2012; Boddez et al., 2013). In this regard, one type of phenomenon that has been extensively
83 studied in nonhumans, but relatively neglected in humans, is the so-called selective learning.

84 The term “selective learning”, also known as “cue-competition”, is used to refer to observations
85 that in conditioning involving some compound of cues, what is learned to one of the cues appears to
86 depend upon the associative value from other cues (Wagner, 1969). One example is the blocking

87 effect, where prior reinforcements of a cue, by itself, prevents or reduces learning of a second cue
88 when it is reinforced in compound with the first (Kamin, 1968).

89 Blocking and other cue competition effects, like overshadowing and supernormal conditioning,
90 are robust in fear conditioning in nonhumans (Fam et al., 2017; Mackintosh, 1975b; Wagner et al.,
91 1968; but see Maes et al., 2016). Very little research has been done, however, on fear conditioning in
92 humans. Moreover, as it will be discussed later, the evidence of selective learning in strict Pavlovian
93 conditioning procedures, even beyond fear conditioning, is almost nil in humans.

94 On the basis of this rather limited corpus of evidence, we deemed useful to initiate a program
95 of research on selective learning in human fear conditioning. Therefore, the two experiments reported
96 here were motivated by purely empirical considerations. We have a laboratory for human
97 conditioning with the availability of several cues from different sensory modalities (tactile, visual,
98 and auditory) which can be especially well-suited for examining the effects of stimulus competition.
99 To the best of our knowledge, there are no studies of human fear-potentiated startle using cues from
100 different sensory modalities, consequently in Experiment 1 we provided evidence of intermodal
101 discriminative learning (visual versus auditory). In Experiment 2, we examined intermodal cue
102 competition.

103 **2 Experiment 1**

104 The purpose of this study was to establish the conditions to observe fear-potentiated startle in a
105 differential learning procedure with cues belonging to different sensory modalities in our laboratory.
106 For this, we employed an experimental situation similar to that of Grillon and Davis (1997) in which
107 one CS, A, is paired with the US, while another CS, B, is not (A+B-). Fear conditioning is examined
108 in a final test stage, in which the amplitude of the startle response to an air-puff, either alone or in the
109 presence of the CSs is examined. Several studies have demonstrated differential learning with this
110 procedure; that is, the startle response to the air-puff in presence of A is greater than both, to the air
111 puff alone, and to the air-puff in the presence of B (Glenn et al., 2012; Grillon, 2002; Lissek et al.,
112 2008; Lissek et al., 2010; Lissek et al., 2014; Torrents-Rodas et al., 2014). All of these studies have
113 used CSs belonging to the same sensory modality (predominantly visual). Furthermore, it has been
114 observed in some of these studies that startling in the presence of B was also increased relative to the
115 air-puff alone, especially in clinical populations (Grillon and Morgan, 1999; Linder et al., 2015,
116 Lissek et al., 2009), probably due to generalization from A. In order to reduce this factor, we use two
117 CSs from different sensory modalities.

118 **2.1 Method**

119 **2.1.1 Participants**

120 A total of 24 undergraduate psychology students at University of Talca participated in the experiment
121 for course credit. They all reported normal or corrected to normal vision, normal hearing, normal
122 tactile sense, and no neurological problems. They were tested individually and had no previous
123 experience in similar research.

124 **2.1.2 Apparatus**

125 The experimental sessions were conducted in four identical 2.5×2.76×2.4 m sound attenuating
126 isolation chambers, dimly illuminated by an 18-Watt white bulb located in the ceiling of the room.
127 The stimulus presentation and data collection were under the control of a National Instruments PXIe-
128 8135 Core i7-3610QE 2.3 GHz Controller located in an adjacent room.

129 There were two conditioned stimuli, 8-sec duration each. A visual CS was provided by a 50-
130 watt light presented through a white bulb located approximately 2 meters in front and 50 cm above of

131 the participant's head. An auditory CS was provided by a 60-dB white noise delivered through
 132 PHILIPS SHS5200 earphones.

133 The US was a 200- μ sec, 5-mA square-wave electric pulse produced by a constant-current
 134 generator (Digitimer 7a) and delivered to the anterior part of the right wrist through two disk
 135 electrodes. Participants in this study described this stimulus as "unpleasant but not painful". The
 136 startle-probe stimulus was a 40-msec, 15-psi puff of compressed air delivered to the center of the
 137 right zygomatic bone through a copper tube with a diameter of 2-mm connected to a plastic hose. The
 138 total length from the solenoid to the point of air delivery was 371-cm.

139 The eyeblink component of the startle response was measured by recording
 140 electromyographic activity (EMG) using three Ag-AgCl electrodes filled with a standard electrolyte
 141 gel. Two electrodes were placed on the orbicularis oculi muscle of the left eye, 1 cm below the pupil
 142 and 1.5 cm lateral. A third reference electrode was placed on the left mastoid (Blumenthal et al.,
 143 2005). The EMG signal was recorded at 512 Hz using a gTec USBamp amplifier and transmitted to
 144 the embedded controller for event synchronization and storage. To score the magnitude of the startle
 145 eyeblinks, sampled data were imported offline into Matlab format (The Mathworks, Inc., Natick,
 146 MA, USA) using custom scripts, and EEGLAB (Delorme and Makeig, 2004) and ERPLAB (Lopez-
 147 Calderon and Luck, 2014) toolboxes. Continuous EMG data were then band-pass filtered from 0.1 to
 148 30 Hz with a second order Butterworth filter, and epoched from 500 msec pre-stimulus to 235 msec
 149 post-stimulus (response window). A baseline period was quantified as the mean voltage within a pre-
 150 stimulus sub-window from -100 to 0 msec. The epochs were subtracted from the baseline period for
 151 baseline correction. This method ensures that the amplitude of the response during the response
 152 window is measured with respect to the mean baseline voltage and not in relation to zero voltage.
 153 Next, the ERPLAB toolbox was used to detect peak values during the response window for each
 154 epoch. This tool detects local peak, which was defined as a sampled value that is greater than the
 155 average of the three samples (6 msec) on the left and the right side of it. If more than one local peak
 156 were detected in the response window, the algorithm chooses the largest. If no local peak was found,
 157 then the epoch (trial) was excluded from the study. Furthermore, trials included in this analysis (valid
 158 trials) were those where the onset of the startle eyeblink fell within the response window (not earlier).

159 In addition to this automated procedure, the voltage during baseline and response windows of
 160 every trial (see below) was plotted as a function of time. The goal of this step was to visually detect
 161 additional trials due to noisy baseline, and/or artifacts caused by participant's movements and
 162 exclude them from the analyses. The observer that performed this procedure was blind with respect
 163 to the experimental conditions assigned to each trial. In appendix 1, there is a summary of the
 164 eliminated trials for each subject.

165 2.1.3 Procedure

166 The experiment occurred in a single session of two phases: training and test. In training, participants
 167 received 18 trials of CS A co-terminated with the US (A+), interspersed with 18 trials with CS B
 168 nonreinforced (B-). Stimulus A and B were the light and the noise, counterbalanced. At the end of
 169 this training, the participants received a series of test trials in which the eyeblink response to the air-
 170 puff probe was examined when it was embedded in A or B, or when the air-puff was presented alone
 171 (ITI). Each test trial type (A, B, ITI) was repeated 9 times, totaling 27 test trials. Discriminative
 172 training continued during testing and the puff was presented at 2, 4 or 6 seconds after the onset of the
 173 conditioned stimulus in the case of A and B, or after the onset of an eight -seconds "blank trial" in
 174 the case of the puff-alone type. The inter-trial intervals were 20, 25 and 30 seconds presented pseudo-
 175 randomly throughout the experiment.

176 In test, the trial types A, B and ITI were presented in a pseudorandom order with the
 177 restrictions that each type occurred once in each block of three trials. The stimulus that was presented
 178 in the first trial was counterbalanced across participants. This resulted in the following

179 counterbalances: A+, ITI, B-, B-, A+, ITI, ITI, A+, B-, B-, ITI, A+, A+, B-, ITI, ITI, B-, A+, A+,
 180 ITI, B-, B-, ITI, A+, A+, B-, ITI (sequence 1); ITI, A+, B-, B-, A+, ITI, A+, ITI, B-, B-, ITI, A+, A+,
 181 B-, ITI, ITI, B-, A+, A+, ITI, B-, B-, ITI, A+, A+, B-, ITI (sequence 2), B-, ITI, A+, A+, B-, ITI, ITI,
 182 B-, A+, A+, ITI, B-, B-, A+, ITI, ITI, A+, B-, B-, ITI, A+, A+, ITI, B-, B-, A+, ITI (sequence 3); and
 183 ITI, B-, A+, A+, B-, ITI, B-, ITI, A+, A+, ITI, B-, B-, A+, ITI, ITI, A+, B-, B-, ITI, A+, A+, ITI, B-,
 184 B-, A+, ITI (sequence 4). Sequences 1 and 3 were used twice as many as sequences 2 and 4.

185 Since there were 2 different stimulus assignments and 6 test sequences, there were 12
 186 different participant conditions. The experiment was run in two replications, each consisting of 12
 187 participants.

188 2.1.4 Statistical Analysis

189 The statistical reliability of the effects was assessed by a 3 (trial type: A, B, ITI) x 2 (cue: light,
 190 noise) mixed-design analysis of variance (ANOVA) with the mean peak amplitude of startle as the
 191 dependent variable. For each experimental condition, the first trial was eliminated from this analysis
 192 to avoid novelty effect. We performed post-hoc pairwise comparisons using the least significance
 193 difference test (LSD).

194 2.1.5 Results and discussion

195 Figure 1 presents the mean startle response in trials 2-9 of each type. It is apparent responding to the
 196 puff in the presence of the reinforced CS A ($M = 211.60$, $SEM = 29.51$) was larger than responding to
 197 the puff alone ($M = 152.82$, $SEM = 21.86$), indicating the development of fear conditioning, and greater
 198 than when the puff occurred in the presence of the nonreinforced CS, B ($M = 179.25$, $SEM = 28.16$),
 199 indicating discrimination. Some degree of generalized fear may have been carried out by B, since the
 200 mean startle in the presence of this cue was also superior to that of the puff alone. Consistent with
 201 these observations, the repeated measures ANOVA revealed a main effect of trial type, $F(2, 44)$
 202 $= 12.922$, $p < 0.001$, η^2 partial = .370, but not reliable effect of cue, $F(1, 22) < 1$ or trial type x cue
 203 interaction, $F(2, 44) < 1$. Post hoc comparisons revealed that responding to the puff in the presence of
 204 cue A was significantly larger than responding to the puff alone ($p < 0.001$), and larger than startle in
 205 the presence of cue B ($p = 0.003$). The difference in responding to the puff alone and to the puff in the
 206 presence of B was also significant ($p = 0.035$).

207 In summary, our findings reveal that there is an associative potentiation of the startle response
 208 with our intermodal differential conditioning procedure. Specifically, we demonstrate discriminative
 209 learning, in the form of a larger startle response in the presence of a stimulus from one sensory
 210 modality (i.e., visual or auditory), that was paired with the US (A), than in the presence of a stimulus
 211 from another sensory modality (i.e., auditory or visual), but that was not paired with the US (B). This
 212 adds to the existing literature in differential learning that mostly have focused in intra-modal
 213 discrimination with geometrical figures (e.g., Baas et al., 2014; Ballard et al., 2014; Borelli et al.,
 214 2015), lights (e.g., Ameli and Grillon, 2001; Baas et al., 2004; Grillon and Davis, 1997), and sounds
 215 (e.g., Asli et al., 2009; Asli and Flaten, 2012).

216 3 Experiment 2

217 As mentioned in the introduction, while there is considerable evidence of cue competition effects in
 218 nonhumans, it is less clear whether this is a robust phenomenon in humans. For instance, Martin and
 219 Levey (1991) conducted four experiments examining cue competition in human eyeblink
 220 conditioning with visual CSs and an air puff US. In three of these experiments (1, 3 and 4), with
 221 similar methods and results, participants were trained first in a discrimination procedure in which CS
 222 A was reinforced and CS B was not (A+ B-). In a second stage, A and B were compounded with X
 223 and Y, respectively, and reinforced (AX+BY-). In test, conditioned eyeblink to X was reliably lower

224 than to Y, indicating that learning to X was degraded by being reinforced in compound with the more
 225 valid cue, A, relative to Y that was reinforced in compound with the non-valid cue, B. In Experiment
 226 2, however, in which the two conditions (i.e., A+/AX+ versus B-/BY+) were between-subjects, no
 227 differences between X and Y were found.

228 A few studies in electrodermal conditioning have directly assessed blocking by comparing the
 229 response to a blocking condition with the one to an overshadowing condition (i.e., X versus Y, after
 230 training A+ followed by AX+, BY+). Here, there are also mixed results: while some studies have
 231 provided reliable evidence of blocking (Hinchy et al., 1995; Kimmel and Bevil, 1991; Kimmel and
 232 Bevil, 1996; Mitchell and Lovibond, 2002; Pellón and García-Montaño, 1990; Pellón et al., 1995),
 233 others have failed to see this effect (Davey and Singh, 1988; Lovibond et al., 1988). Recently,
 234 Boddez et al. (2013) and Eippert et al. (2012) reported null results of blocking when conditioning
 235 was measured through the electrodermal response, but positive results when the participant's
 236 declarative expectation of an electric shock was used as measure of learning.

237 Furthermore, in our knowledge, no studies have been reported that evaluate cue competition
 238 in fear-potentiated startle. Therefore, we designed an experiment (Experiment 2) based on Martin and
 239 Levey's (1991) studies, involving an A+B- discrimination in the first stage followed by AX+BY+
 240 compound training, to examine the possibility of observing cue competition in fear-potentiated
 241 startle.

242 **3.1 Method**

243 **3.1.1 Participants**

244 A total of 24 undergraduate psychology students at University of Talca participated in the experiment
 245 for course credit. They all reported normal or corrected to normal vision, normal hearing, normal
 246 tactile sense, and no neurological problems. They were tested individually and had no previous
 247 experience in similar research.

248 **3.1.2 Apparatus**

249 The apparatus and stimuli were the same as those employed in Experiment 1, except that there were
 250 four 8-sec duration conditioned stimuli. A visual CS was provided by a 50-watts light. A vibratory
 251 CS was produced by a small electric motor (5 Volt) which was applied on the index finger of the
 252 right hand. There were two 70-dB auditory stimuli CSs presented through PHILIPS SHS5200
 253 earphones: a 1000-Hz pure tone and a white noise.

254 **3.1.3 Procedure**

255 The experiment occurred in a single session of three phases: In phase 1, participants received 18 trials
 256 of a CS designated as "A" co-terminated with the US (A+) interspersed with 18 trials which a CS
 257 designated as B was nonreinforced (B-). Stimuli A and B were the light and the vibrator
 258 (counterbalanced across participants). Likewise, stimuli X and Y were the tone and the noise
 259 (counterbalanced across participants). During phase 2, participants received 4 trials of each AX and
 260 BY compounds paired with the US. The inter-trial intervals of phase 1 and phase 2 were 20, 25 and
 261 30 seconds presented pseudo-randomly. For each participant, at the end of this training, the eyeblink
 262 response to the air-puff test stimulus was examined when the air-puff was preceded by X, Y, and
 263 when it was presented alone (ITI). Each type of test trial (Y, X, ITI) was repeated 6 times, totaling
 264 18 test trials. The puff was presented at 2, 4 or 6 seconds after the onset of the conditioned stimulus,
 265 with a fix inter-puff interval of 100 seconds.

266 The assignment of specific stimulus to CSs A-Y was partially counterbalanced across
 267 participants of each group by means of their different allocation in one of four subgroups, each with a

268 different assignment of stimulus as A-Y. Specifically, in subgroup 1 the assignment for A, B, X, and
 269 Y was vibration, light, tone, and noise, correspondingly. Subgroup 2 was identical to subgroup 1,
 270 except that the stimuli used for X and Y were noise and tone, respectively. In subgroup 3 the
 271 assignment for A, B, X, and Y was light, vibration, tone, and noise, correspondingly. Subgroup 4 was
 272 identical to subgroup 3, except that the stimuli used for X and Y were noise and tone, respectively.

273 In test, stimulus X, Y and ITI were presented in a pseudorandom order with the restrictions
 274 that each stimulus occurred once in each block of three trials, and it was never followed by itself or
 275 by every other stimulus equally often. The stimulus that was presented in the first trial was
 276 counterbalanced across participants. This resulted in the following counterbalances: X, Y, ITI, Y, X,
 277 ITI, X, ITI, Y, ITI, X, Y, ITI, Y, X, Y, ITI, X (sequence 1), Y, X, ITI, X, Y, ITI, Y, ITI, X, ITI, Y, X,
 278 ITI, X, Y, X, ITI, Y (sequence 2), ITI, Y, X, Y, ITI, X, ITI, X, Y, X, ITI, Y, X, Y, ITI, Y, X, ITI
 279 (sequence 3). There was no reinforcement in the testing phase.

280 Since there were 4 different stimulus assignments, and 3 test sequences, there was a total of
 281 12 different conditions. The experiment was run in two replications, each consisting of 12
 282 participants.

283 3.1.4 Statistical Analysis

284 The statistical reliability of the effects was assessed by a 3 (trial type: Y, X, ITI) x 2 (reinforced cue:
 285 light, vibrator) mixed-design analysis of variance (ANOVA) with the mean peak amplitude of startle
 286 as the dependent variable. For each experimental condition, the first trial was eliminated from this
 287 analysis to avoid novelty effect. We performed post-hoc pairwise comparisons using the least
 288 significance difference test (LSD).

289 3.1.5 Results and discussion

290 Figure 2 shows the mean startle response across trials 2-6 of each trial type of each of two subgroups.
 291 We decided to display the results separately for two subgroups because there was a very different
 292 pattern of results for the participants that were trained with the light reinforced in phase 1 versus
 293 those trained with the vibrator reinforced in phase 1. When the reinforced cue was the light (top plot),
 294 fear conditioning to Y seems to have been developed over training, since the response to the puff, in
 295 its presence, is higher than the response to the puff alone. Furthermore, the data suggest a cue
 296 competition effect in the form of a larger response in the presence of cue Y than in the presence of
 297 cue X. On the contrary, in the subgroup in which the reinforced cue was the vibrator (bottom plot),
 298 the responses in the three types of tests trials were very similar.

299 The reliability of this pattern was mainly confirmed by our statistical analysis. There was a
 300 reliable trial type x reinforced cue interaction, $F(2, 44) = 3.403$, $p = 0.042$, η^2 partial = .134, but not
 301 reliable effect of trial type, $F(2, 44) = 1.740$, $p = .187$, η^2 partial = .073, and of reinforced cue $F(1, 22)$
 302 < 1 . Simple effects of trial type in each subgroup revealed that when the reinforced cue was a light,
 303 the response to the puff in the presence of cue Y was significantly larger than responding to the puff
 304 alone ($p = 0.008$) and larger than startle in the presence of cue X ($p = 0.032$). The difference in
 305 responding to the puff alone and to the puff in the presence of X was not significant ($p = 0.386$).
 306 When the reinforced cue was the vibrator, there were no significant differences in the responses
 307 ($p > 0.346$).

308 In summary, our results provided the first evidence of cue competition in fear-potentiated
 309 startle in humans in the subgroup in which cue A was the light and cue B the vibrator. The fact that
 310 responding in the presence of cue X was not reliably greater than responding to the puff alone,
 311 suggest that probably cue X was blocked by cue A. Nevertheless, it is also possible that cue Y had
 312 developed supernormal conditioning due to the fact that was trained in compound with a “safe” or
 313 “inhibitory” cue (B). In order to probe whether this effect was added to the blocking effect, it would
 314 be necessary to present a third compound comprising two entirely new CS in phase two, (i.e, CZ+).

315 On the other hand, our results suggest that cue competition may depend somehow on the
316 stimulus modality. The fact that an auditory CS was blocked by a visual cue, but not by a vibrotactile
317 cue might be due to greater generalization among vibrotactile and auditory stimuli. It is conceivable
318 that our vibrotactile stimulus shares a common component with the auditory cues, X and Y (e.g., the
319 sound generated by the small electric motor). It is possible, then, that the common auditory
320 component of the vibrator acquired sufficient fear to block both X and Y equally. This is consistent
321 with the lack of difference between X and Y in test and with the fact that responding to both is above
322 than responding to the puff alone (although this difference was not reliable). Of course, this is merely
323 speculative and further research must be conducted to clarify this issue.

324 4 General discussion

325 The demonstration of cue competition effects in Pavlovian conditioning is important for theoretical
326 and empirical reasons. When these effects were initially observed in nonhumans, they suggested
327 importantly that although the CS and the US are presented with an otherwise effective degree of
328 coincidence, learning can fail if the informational or predictive value of the CS regarding the
329 occurrence of the US is low. Thus, authors come to the conclusion that learning a CS-US association
330 seems to depend on the associative value of other stimuli that were present during training. Thus,
331 theoreticians faced the challenge of describing how animals develop associations between a CS and a
332 US according to the degree that the CS occurrence acquires a predictive or informational value about
333 the US occurrence. Theories designed to account for these findings use what is now known as
334 "competitive learning rules" (e.g., Mackintosh, 1975a; Pearce and Hall, 1980; Rescorla and Wagner,
335 1972; Wagner, 1981).

336 Reciprocally, these theoretical models based on the findings with nonhumans, lead authors to
337 propose that competitive mechanisms of this sort might underlie several other forms of learning in
338 humans, beyond Pavlovian conditioning, such as predictive and casual learning (Dickinson et al.,
339 1984; Gluck and Bower, 1988; Shanks and Dickinson, 1987). Although the studies on cue
340 competition in casual and predictive learning are substantially larger in number than those on
341 Pavlovian conditioning in humans, they are almost as inconclusive as the latter (Miller and Matute,
342 1996).

343 Moreover, recently, an empirical debate has emerged with respect to the reliability of some cue
344 competition effects, not only in humans, but also in nonhumans (Maes et al., 2016; Maes et al., 2018;
345 Soto, 2018; Urcelay, 2017). For instance, while Maes et al. (2016) reported several failures in
346 demonstrating blocking in rats, Fam et al. (2017), with very similar procedures, found the opposite.
347 Currently, researchers are reaching the consensus that cue competition effects are not guaranteed but
348 instead their occurrence would depend on several variables, such as stimulus modality and
349 generalization of the CSs in the compound (Haselgrove, 2010; Soto, 2018; Vogel and Wagner, 2017),
350 relative salience of the elements in the compound (Sanderson et al., 2016), outcome additivity
351 (Beckers et al., 2006), number of blocking cues (Witnauer et al., 2008), presence of generalized
352 anxiety in the case of fear conditioning (Boddez et al., 2012), or just individual differences (Urcelay,
353 2017).

354 The current study is the initial part of a larger project intended to address stimulus competition
355 in the context of fear conditioning in humans. In our knowledge, this article is the first report of cue
356 competition in fear-potentiated startle, and the first demonstration of discriminative learning of fear-
357 potentiated startle with multimodal cues in humans. Having established the conditions to observe this
358 phenomenon, further studies may evaluate, for instance, whether or not cue competition depends on
359 some of the variables mentioned above.

360 5 Conflict of Interest

361 The authors declare that the research was conducted in the absence of any commercial or financial
 362 relationships that could be construed as a potential conflict of interest.

363 **6 Author Contributions**

364 All authors contributed to the design of the experiments, data collection, data analysis and writing.
 365 All authors approved the final version of the paper for submission.

366 **7 Acknowledgments**

367 This work was supported by grant from Fondecyt N° 1160601 to Edgar H. Vogel.
 368 We thank Sebastian Becerra and Yercio Uribe for their work in the design of experimental stimuli and
 369 data collection.

370 **8 References**

- 371 Ameli, R., and Grillon, C. (2001). Contextual fear-potentiated startle conditioning in humans:
 372 Replication and extension. *Psychophysiology* 38, 383-390. doi:<https://doi.org/10.1111/1469-8986.3830383>
- 374 Annau, Z., and Kamin, L. J. (1961). The conditioned emotional response as a function of intensity of
 375 the US. *J Comp Physiol Psychol* 54(4), 428-432. doi:<http://dx.doi.org/10.1037/h0042199>
- 376 Arcediano, F. (1996). A behavioural preparation for the study of human Pavlovian conditioning. *Q J*
 377 *Exp Psychol B* 49(3), 270-283. doi: 10.1080/713932633
- 378 Armony, J. L., Servan-Schreiber, D., Romanski, L. M., Cohen, J. D., and LeDoux, J. E. (1997).
 379 Stimulus generalization of fear responses: Effects of auditory cortex lesions in a computational
 380 model and in rats. *Cereb Cortex* 7(2), 157-165. doi: 10.1093/cercor/7.2.157
- 381 Asli, O., and Flaten, M. A. (2012). How fast is fear? Automatic and controlled processing in
 382 conditioned fear. *J Psychophysiol* 26, 20-28. doi: <http://dx.doi.org/10.1027/0269-8803/a000063>
- 383 Asli, O., Kulvedrøsten, S., Solbakken, L. E., and Flaten, M. A. (2009). Fear potentiated startle at
 384 short intervals following conditioned stimulus onset during delay but not trace
 385 conditioning. *Psychophysiology* 46, 880-888. doi:10.1111/j.1469-8986.2009.00809.x
- 386 Ballard, E. D., Ionescu, D. F., Voort, J. L. V., Slonena, E. E., Franco-Chaves, J. A., Zarate Jr, C. A.,
 387 et al. (2014). Increased fear-potentiated startle in major depressive disorder patients with
 388 lifetime history of suicide attempt. *J Affect Disord* 162, 34-38. doi:10.1016/j.jad.2014.03.027
- 389 Baas, J. M., Klumpers, F., Mantione, M. H., Figeer, M., Vulink, N. C., Schuurman, P. R., et al.
 390 (2014). No impact of deep brain stimulation on fear-potentiated startle in obsessive-compulsive
 391 disorder. *Front Behav Neurosci* 8, 1-9. doi: 10.3389/fnbeh.2014.00305
- 392 Baas, J. M., Nugent, M., Lissek, S., Pine, D. S., and Grillon, C. (2004). Fear conditioning in virtual
 393 reality contexts: a new tool for the study of anxiety. *Biol Psychiatry* 55, 1056-1060.
 394 doi:10.1016/j.biopsych.2004.02.024
- 395 Beckers, T., Krypotos, A. M., Boddez, Y., Effting, M., and Kindt, M. (2013). What's wrong with fear
 396 conditioning? *Biol Psychol* 92, 90-96. doi: 10.1016/j.biopsycho.2011.12.015

- 397 Beckers, T., Miller, R. R., De Houwer, J., and Urushihara, K. (2006). Reasoning rats: forward
 398 blocking in Pavlovian animal conditioning is sensitive to constraints of causal inference. *J Exp*
 399 *Psychol Gen* 135, 92-102. doi:10.1037/0096-3445.135.1.92
- 400 Blanchard, R. J., and Blanchard, D. C. (1969). Crouching as an index of fear. *J Comp Physiol*
 401 *Psychol* 67, 370-375. doi:http://dx.doi.org/10.1037/h0026779
- 402 Blumenthal, T. D., Cuthbert, B. N., Filion, D. L., Hackley, S., Lipp, O. V., and Van Boxtel, A.
 403 (2005). Committee report: Guidelines for human startle eyeblink electromyographic
 404 studies. *Psychophysiology* 42, 1-15. doi:10.1111/j.1469-8986.2005.00271.x
- 405 Boddez, Y., Baeyens, F., Hermans, D., and Beckers, T. (2013). Reappraisal of threat value: loss of
 406 blocking in human aversive conditioning. *Span J Psychol* 16, 1-10. doi:10.1017/sjp.2013.84
- 407 Boddez, Y., Vervliet, B., Baeyens, F., Lauwers, S., Hermans, D., and Beckers, T. (2012). Expectancy
 408 bias in a selective conditioning procedure: Trait anxiety increases the threat value of a blocked
 409 stimulus. *J Behav Ther Exp Psychiatry* 43, 832-837. doi:10.1016/j.jbtep.2011.11.005
- 410 Borelli, J. L., Ruiz, S. K., Crowley, M. J., Mayes, L. C., De los Reyes, A., and Lewin, A. B. (2015).
 411 Children's obsessive compulsive symptoms and fear-potentiated startle responses. *J Obsessive*
 412 *Compuls Relat Disord* 6, 101-107. doi:https://doi.org/10.1016/j.jocrd.2015.06.006
- 413 Bouton, M. E., and Bolles, R. C. (1979). Contextual control of the extinction of conditioned
 414 fear. *Learn Motiv* 10, 445-466. http://dx.doi.org/10.1037/0097-7403.9.3.248
- 415 Bouton, M. E., and Bolles, R. C. (1980). Conditioned fear assessed by freezing and by the
 416 suppression of three different baselines. *Learn Behav* 8, 429-434.
 417 https://doi.org/10.3758/BF03199629
- 418 Brown, J. S., Kalish, H. I., and Farber, I. E. (1951). Conditioned fear as revealed by magnitude of
 419 startle response to an auditory stimulus. *J Exp Psychol* 41, 317-328.
 420 doi:http://dx.doi.org/10.1037/h0060166
- 421 Davey, G. C., and Singh, J. (1988). The Kamin "blocking" effect and electrodermal conditioning in
 422 humans. *J Psychophysiol* 2, 17-25.
- 423 Davis, M. (1990). Animal models of anxiety based on classical conditioning: the conditioned
 424 emotional response (CER) and the fear-potentiated startle effect. *Pharmacol Ther*, 47, 147-165.
 425 doi:https://doi.org/10.1016/0163-7258(90)90084-F
- 426 Davis, M. (2001). Fear-potentiated startle in rats. *Curr Protoc Neurosci* 14, 1-11. doi:
 427 10.1002/0471142301.ns0811as14
- 428 Davis, M. (2006). Neural systems involved in fear and anxiety measured with fear-potentiated
 429 startle. *Am Psychol* 61, 741-756. doi: 10.1037/0003-066X.61.8.741
- 430 Davis, M., Falls, W. A., Campeau, S., and Kim, M. (1993). Fear-potentiated startle: a neural and
 431 pharmacological analysis. *Behav Brain Res* 58, 175-198. doi:https://doi.org/10.1016/0166-
 432 4328(93)90102-V

- 433 Delorme, A., and Makeig, S. (2004). EEGLAB: an open source toolbox for analysis of single-trial
 434 EEG dynamics including independent component analysis. *J Neurosci Methods* 134, 9-21. doi:
 435 10.1016/j.jneumeth.2003.10.009
- 436 Dickinson, A., Shanks, D., and Evenden, J. (1984). Judgement of act-outcome contingency: The role
 437 of selective attribution. *Q J Exp Psychol* 36(1), 29-50. doi:
 438 <https://doi.org/10.1080/14640748408401502>
- 439 Eippert, F., Gamer, M., and Büchel, C. (2012). Neurobiological mechanisms underlying the blocking
 440 effect in aversive learning. *J Neurosci* 32, 13164-13176. doi: 10.1523/JNEUROSCI.1210-
 441 12.2012
- 442 Estes, W. K., and Skinner, B. F. (1941). Some quantitative properties of anxiety. *J Exp Psychol* 29,
 443 390-400. doi:<http://dx.doi.org/10.1037/h0062283>
- 444 Fam, J., Westbrook, R. F., and Holmes, N. M. (2017). An examination of changes in behavioral
 445 control when stimuli with different associative histories are conditioned in compound. *J Exp*
 446 *Psychol Anim Learn Cogn* 43, 205-218. doi: 10.1037/xan0000140
- 447 Fendt, M., and Koch, M. (2013). Translational value of startle modulations. *Cell Tissue Res* 354,
 448 287-295. doi: 10.1007/s00441-013-1599-5
- 449 Glenn, C. R., Lieberman, L., and Hajcak, G. (2012). Comparing electric shock and a fearful
 450 screaming face as unconditioned stimuli for fear learning. *Int J Psychophysiol* 86, 214-219. doi:
 451 10.1016/j.ijpsycho.2012.09.006
- 452 Gluck, M. A., and Bower, G. H. (1988). From conditioning to category learning: An adaptive
 453 network model. *J Exp Psychol Gen* 117, 225-244. doi: [http://dx.doi.org/10.1037/0096-
 454 3445.117.3.227](http://dx.doi.org/10.1037/0096-3445.117.3.227)
- 455 Grillon, C., and Baas, J. (2003). A review of the modulation of the startle reflex by affective states
 456 and its application in psychiatry. *Clin Neurophysiol* 114, 1557-1579. doi:
 457 [https://doi.org/10.1016/S1388-2457\(03\)00202-5](https://doi.org/10.1016/S1388-2457(03)00202-5)
- 458 Grillon, C., and Davis, M. (1997). Fear-potentiated startle conditioning in humans: Explicit and
 459 contextual cue conditioning following paired versus unpaired training. *Psychophysiology* 34,
 460 451-458. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1469-8986.1997.tb02389.x>
- 461 Grillon, C. (2002). Associative learning deficits increase symptoms of anxiety in humans. *Biol*
 462 *Psychiatry* 51, 851-858. doi:[https://doi.org/10.1016/S0006-3223\(01\)01370-1](https://doi.org/10.1016/S0006-3223(01)01370-1)
- 463 Grillon, C., and Morgan III, C. A. (1999). Fear-potentiated startle conditioning to explicit and
 464 contextual cues in Gulf War veterans with posttraumatic stress disorder. *J Abnorm Psychol* 108,
 465 134-142. doi:<http://dx.doi.org/10.1037/0021-843X.108.1.134>
- 466 Haesen, K., Beckers, T., Baeyens, F., and Vervliet, B. (2017). One-trial overshadowing: Evidence for
 467 fast specific fear learning in humans. *Behav Res Ther* 90, 16-24. doi: 10.1016/j.brat.2016.12.001

- 468 Haselgrove, M. (2010). Reasoning rats or associative animals? A common-element analysis of the
 469 effects of additive and subadditive pretraining on blocking. *J Exp Psychol Anim Behav Process*
 470 36, 296. doi: 10.1037/a0016603
- 471 Hitchcock, J., and Davis, M. (1986). Lesions of the amygdala, but not of the cerebellum or red
 472 nucleus, block conditioned fear as measured with the potentiated startle paradigm. *Behav*
 473 *Neurosci* 100, 11-22. doi:10.1037/0735-7044.100.1.11
- 474 Hinchy, J., Lovibond, P. F., and Ter-Horst, K. M. (1995). Blocking in human electrodermal
 475 conditioning. *Q J Exp Psychol* 48, 2-12.
- 476 Kamin, L. J. (1968). "Attention-like" processes in classical conditioning", in *Miami symposium on*
 477 *the prediction of behavior: Aversive stimulation*, ed. M. R. Jones (Miami, FL: University of
 478 Miami Press), 9-33.
- 479 Kamin, L. J. (1969). "Predictability, surprise, attention, and conditioning", in *Punishment and*
 480 *aversive behavior*, eds. B. A. Campbell, and R.M. Church (New York, NY: Appleton-Century-
 481 Crofts), 279-296.
- 482 Kimmel, H. D., and Bevill, M. J. (1991). Blocking and unconditioned response diminution in human
 483 classical autonomic conditioning. *Integr Psychol Behav Sci* 26, 132-138.
 484 doi:https://doi.org/10.1007/BF02691036
- 485 Kimmel, H. D., and Bevill, M. J. (1996). Blocking and unconditioned response diminution in human
 486 classical autonomic conditioning. *Integr Psychol Behav Sci* 31, 18-43. doi:
 487 https://doi.org/10.1007/BF02691479
- 488 Kindt, M., and Soeter, M. (2013). Reconsolidation in a human fear conditioning study: a test of
 489 extinction as updating mechanism. *Biol Psychol* 92, 43-50. doi:
 490 https://doi.org/10.1016/j.biopsycho.2011.09.016
- 491 Leaton, R. N., and Cranney, J. (1990). Potentiation of the acoustic startle response by a conditioned
 492 stimulus paired with acoustic startle stimulus in rats. *J Exp Psychol Anim Behav Process* 16,
 493 279. doi:https://doi.org/10.3758/BF03200415
- 494 LeDoux, J. E. (2000). Emotion circuits in the brain. *Annu Rev Neurosci* 23, 155-184. doi:
 495 10.1146/annurev.neuro.23.1.155
- 496 Lindner, K., Neubert, J., Pfannmöller, J., Lotze, M., Hamm, A. O., and Wendt, J. (2015). Fear-
 497 potentiated startle processing in humans: parallel fMRI and orbicularis EMG assessment during
 498 cue conditioning and extinction. *Int J Psychophysiol* 98, 535-545. doi:
 499 10.1016/j.ijpsycho.2015.02.025
- 500 Lissek, S., Biggs, A. L., Rabin, S. J., Cornwell, B. R., Alvarez, R. P., Pine, D. S., et al. (2008).
 501 Generalization of conditioned fear-potentiated startle in humans: experimental validation and
 502 clinical relevance. *Behav Res Ther* 46, 678-687. doi: 10.1016/j.brat.2008.02.005
- 503 Lissek, S., Kaczurkin, A. N., Rabin, S., Geraci, M., Pine, D. S., and Grillon, C. (2014). Generalized
 504 anxiety disorder is associated with overgeneralization of classically conditioned fear. *Biol*
 505 *Psychiatry* 75, 909-915. doi:10.1016/j.biopsych.2013.07.025

- 506 Lissek, S., Powers, A. S., McClure, E. B., Phelps, E. A., Woldehawariat, G., Grillon, C., et al. (2005).
 507 Classical fear conditioning in the anxiety disorders: a meta-analysis. *Behav Res Ther* 43, 1391-
 508 1424. doi: 10.1016/j.brat.2004.10.007
- 509 Lissek, S., Rabin, S., Heller, R. E., Lukenbaugh, D., Geraci, M., Pine, D. S., et al. (2010).
 510 Overgeneralization of conditioned fear as a pathogenic marker of panic disorder. *Am J*
 511 *Psychiatry* 167, 47-55. doi:10.1176/appi.ajp.2009.09030410
- 512 Lissek, S., Rabin, S. J., McDowell, D. J., Dvir, S., Bradford, D. E., Geraci, M., et al. (2009).
 513 Impaired discriminative fear-conditioning resulting from elevated fear responding to learned
 514 safety cues among individuals with panic disorder. *Behav Res Ther* 47, 111-118. doi:
 515 10.1016/j.brat.2008.10.017
- 516 Lopez-Calderon, J., and Luck, S. J. (2014). ERPLAB: an open-source toolbox for the analysis of
 517 event-related potentials. *Front Hum Neurosci* 8, 213. doi: 10.3389/fnhum.2014.00213
- 518 Lonsdorf, T. B., Menz, M. M., Andreatta, M., Fullana, M. A., Golkar, A., Haaker, J., et al. (2017).
 519 Don't fear 'fear conditioning': Methodological considerations for the design and analysis of
 520 studies on human fear acquisition, extinction, and return of fear. *Neurosci Biobehav Rev* 77,
 521 247-285. doi: 10.1016/j.neubiorev.2017.02.026
- 522 Lovibond, P. F., Siddle, D. A., and Bond, N. (1988). Insensitivity to stimulus validity in human
 523 Pavlovian conditioning. *Q J Exp Psychol* 40, 377-410.
- 524 Mackintosh, N. J. (1975a). A theory of attention: variations in the associability of stimuli with
 525 reinforcement. *Psychol Rev* 82, 276-298. doi:http://dx.doi.org/10.1037/h0076778
- 526 Mackintosh, N. J. (1975b). Blocking of conditioned suppression: role of the first compound trial. *J*
 527 *Exp Psychol Anim Behav Process* 1, 335-345. doi:http://dx.doi.org/10.1037/0097-7403.1.4.335
- 528 Maes, E., Boddez, Y., Alfei, J. M., Kryptos, A. M., D'Hooge, R., De Houwer, J., et al. (2016). The
 529 elusive nature of the blocking effect: 15 failures to replicate. *J Exp Psychol Gen* 145, 49-71. doi:
 530 10.1037/xge0000200
- 531 Maes, E., Kryptos, A.-M., Boddez, Y., Alfei Palloni, J. M., D'Hooge, R., De Houwer, J., et al.
 532 (2018). Failures to replicate blocking are surprising and informative—Reply to Soto (2018). *J*
 533 *Exp Psychol Gen* 147, 603-610. doi: 10.1037/xge0000413
- 534 Martin, I., and Levey, A. B. (1991). Blocking observed in human eyelid conditioning. *Q J Exp*
 535 *Psychol* 43, 233-256.
- 536 Miller, R. R., and Matute, H. (1996). Biological significance in forward and backward blocking:
 537 Resolution of a discrepancy between animal conditioning and human causal judgment. *J Exp*
 538 *Psychol Gen* 125, 370-386. http://dx.doi.org/10.1037/0096-3445.125.4.370
- 539 Mitchell, C. J., and Lovibond, P. F. (2002). Backward and forward blocking in human electrodermal
 540 conditioning: Blocking requires an assumption of outcome additivity. *Q J Exp Psychol B* 55,
 541 311-329. doi:10.1080/02724990244000025

- 542 Myers, K. M., and Davis, M. (2002). Behavioral and neural analysis of extinction. *Neuron* 36, 567-
543 584. doi: [https://doi.org/10.1016/S0896-6273\(02\)01064-4](https://doi.org/10.1016/S0896-6273(02)01064-4)
- 544 Myers, K. M., and Davis, M. (2004). AX+, BX-discrimination learning in the fear-potentiated startle
545 paradigm: possible relevance to inhibitory fear learning in extinction. *Learn Mem* 11, 464-475.
546 doi: 10.1101/lm.74704
- 547 Norrholm, S. D., Jovanovic, T., Briscione, M. A., Anderson, K. M., Kwon, C. K., Warren, V. T., et
548 al. (2014). Generalization of fear-potentiated startle in the presence of auditory cues: a
549 parametric analysis. *Front Behav Neurosci* 8, 361, 1-10. doi: 10.3389/fnbeh.2014.00361
- 550 Pearce, J. M., and Hall, G. (1980). A model for Pavlovian learning: variations in the effectiveness of
551 conditioned but not of unconditioned stimuli. *Psychol Rev* 87, 532-552.
552 <http://dx.doi.org/10.1037/0033-295X.87.6.532>
- 553 Pellón, R., and García-Montaño, J. M. (1990). “Conditioned stimuli as determinants of blocking in
554 human electrodermal conditioning”, in *European perspectives in psychology, vol. 2*, eds. P. J. D.
555 Drenth, J. A. Sergeant, and R. J. Takens (Chichester, UK: Wiley), 409-423.
- 556 Pellón, R., García-Montaño, J. M., and Sánchez, P. (1995). Blocking and electrodermal conditioning
557 in humans. *Psicologica* 16, 321-329.
- 558 Reinhard, G., Lachnit, H., and König, S., (2006). Tracking stimulus processing in Pavlovian
559 pupillary conditioning. *Psychophysiology* 43, 73–83. doi:<http://dx.doi.org/10.1111/j.1469-8986.2006.00374.x>.
- 561 Rescorla, R. A. (1969). Pavlovian conditioned inhibition. *Psychol Bull* 72, 77-94.
562 doi:<http://dx.doi.org/10.1037/h0027760>
- 563 Rescorla, R. A., and Wagner, A. R. (1972). “A theory of Pavlovian conditioning: Variations in the
564 effectiveness of reinforcement and non reinforcement”, in *Classical conditioning II: Current
565 theory and research*, eds. A. H. Black and W. F. Prokasy (New York, NY: Appleton Century
566 Crofts), 64-99.
- 567 Sanderson, D. J., Jones, W. S., and Austen, J. M. (2016). The effect of the amount of blocking cue
568 training on blocking of appetitive conditioning in mice. *Behav Processes* 122, 36-42. doi:
569 10.1016/j.beproc.2015.11.007
- 570 Schwartz, B. (1976). Positive and negative conditioned suppression in the pigeon: Effects of the
571 locus and modality of the CS. *Learn Motiv* 7, 86-100. doi:[https://doi.org/10.1016/0023-9690\(76\)90019-9](https://doi.org/10.1016/0023-9690(76)90019-9)
- 573 Shanks, D. R., and Dickinson, A. (1987). “Associative accounts of causality judgment”, in *The
574 Psychology of Learning and Motivation*, ed. G. H. Bower (San Diego, CA: Academic Press),
575 229-261.
- 576 Smith, J. C., Bradley, M. M., and Lang, P. J. (2005). State anxiety and affective physiology: effects
577 of sustained exposure to affective pictures. *Biol Psychol* 69, 247-260. doi:
578 10.1016/j.biopsycho.2004.09.001

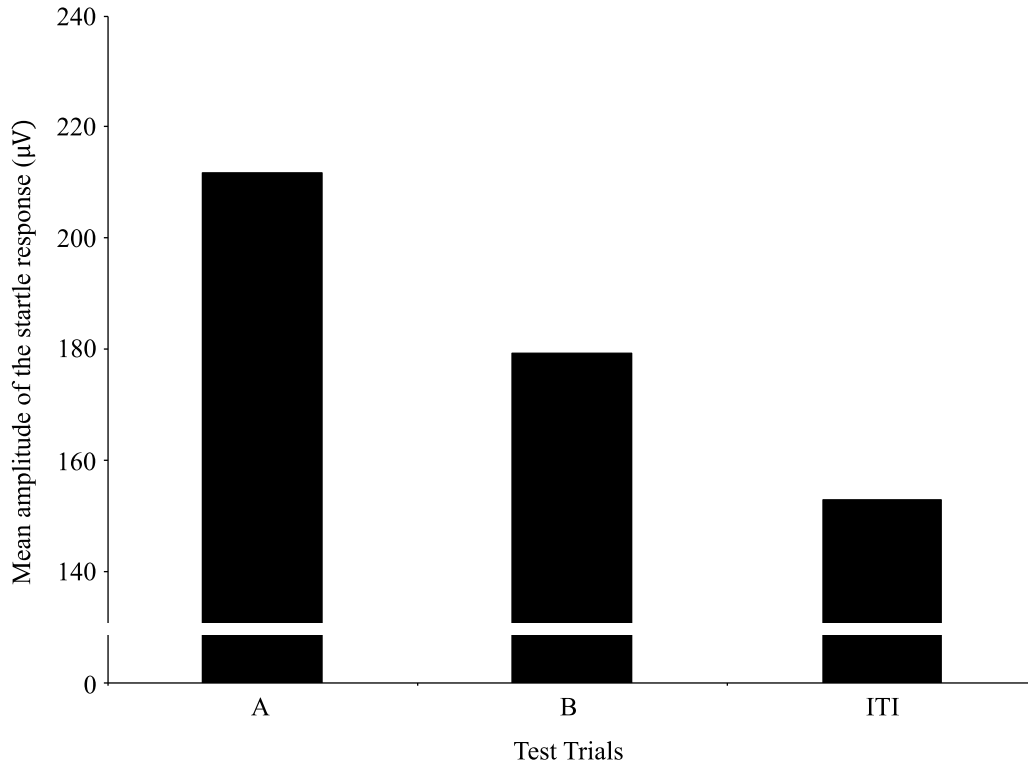
- 579 Soto, F. A. (2018). Contemporary associative learning theory predicts failures to obtain blocking:
580 Comment on Maes et al. (2016). *J Exp Psychol Gen* 147, 597-602.
581 doi:<http://dx.doi.org/10.1037/xge0000341>
- 582 Torrents-Rodas, D., Fullana, M. A., Bonillo, A., Andi3n, O., Molinuevo, B., Caseras, X., et al.
583 (2014). Testing the temporal stability of individual differences in the acquisition and
584 generalization of fear. *Psychophysiology* 51, 697-705. doi: 10.1111/psyp.12213
- 585 Urcelay, G. P. (2017). Competition and facilitation in compound conditioning. *J Exp Psychol Anim*
586 *Learn Cogn* 43, 303-314. doi: 10.1037/xan0000149
- 587 Vogel, E.H., and Wagner, A.R. (2017). A theoretical note in interpretation of the “redundancy effect”
588 in associative learning. *J Exp Psychol Anim Learn Cogn* 43, 119-125. doi: 10.1037/xan0000123
- 589 Wagner, A. R. (1969). “Incidental stimuli and discrimination learning”, in *Animal discrimination*
590 *learning*, eds. R.M. Gilbert and N.S. Sutherland (London: Academic Press), 83-111.
- 591 Wagner, A. R. (1981). “SOP: A model of automatic memory processing in animal behavior”, in
592 *Information processing in animals: Memory mechanisms*, eds. N.E. Spear and R.R. Miller
593 (Hillsdale, NJ: Erlbaum), 5-47.
- 594 Wagner, A. R., Logan, F. A., and Haberlandt, K. (1968). Stimulus selection in animal discrimination
595 learning. *J Exp Psychol* 76, 171-180. doi: 10.1037/h0025414
- 596 Witnauer, J. E., Urcelay, G. P., and Miller, R. R. (2008). Reduced blocking as a result of increasing
597 the number of blocking cues. *Psychon Bull Rev* 15, 651-655.
598 doi:<https://doi.org/10.3758/PBR.15.3.651>

599
600
601
602
603
604
605
606

607

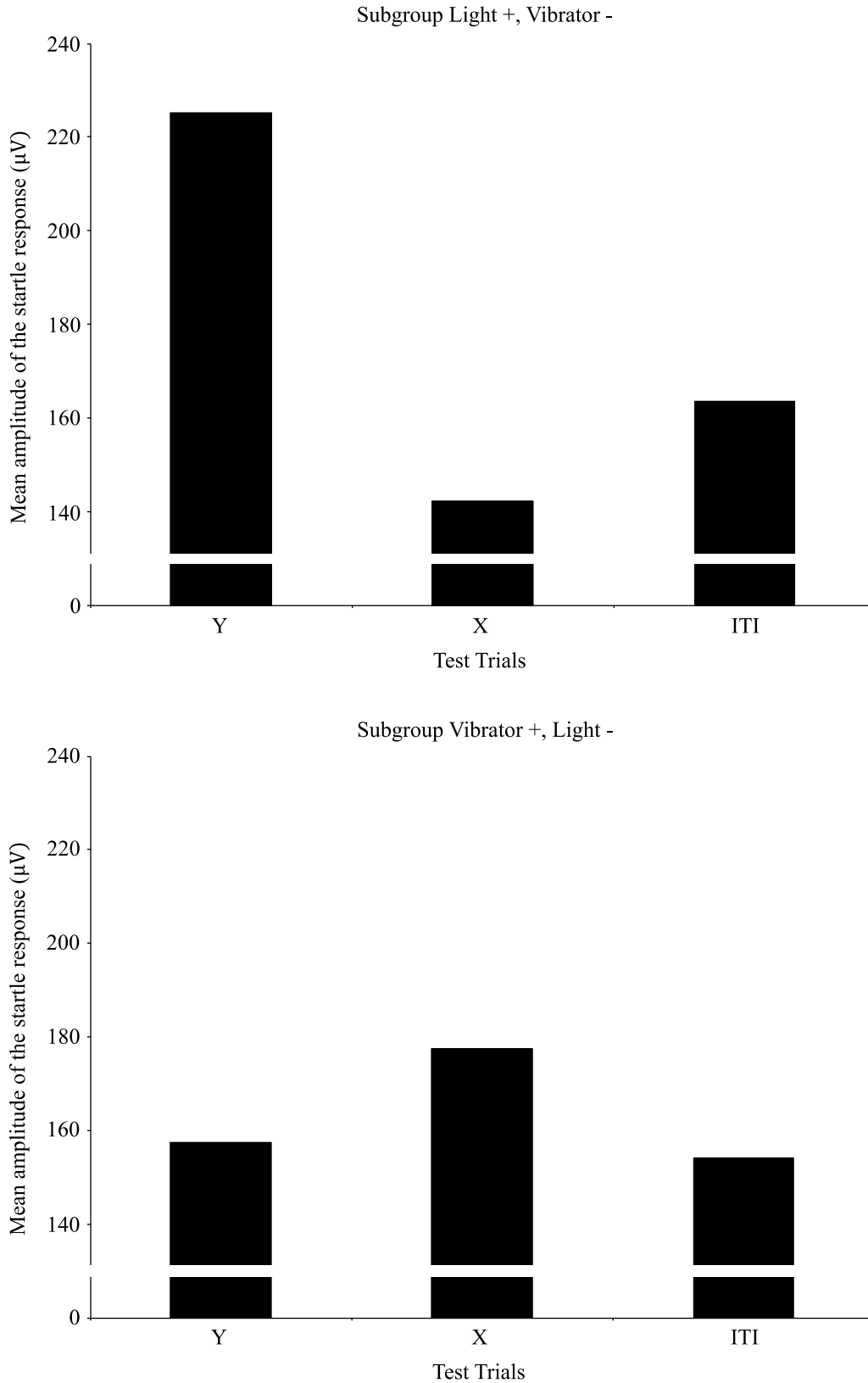
608 **9 Figure captions**

609 Figure 1. Mean amplitude of the startle response in test trials from Experiment 1.



610
611
612
613
614
615
616
617
618
619
620
621

622 Figure 2. Mean amplitude of the startle response in test trials for the subgroup in which the light was
623 reinforced in phase 1 (top plot) and the subgroup in which the vibrator was reinforced in phase 1
624 (bottom plot) of Experiment 2.



626 **10 Appendix 1**

627 Table 1. Number of rejected trials per subject in Experiment 1.

Subject/Cue	A	B	ITI	Total
1			2	2
2	1	1		2
3		1		1
4		2		2
5		1		1
6	1	2	1	4
7				0
8				0
9	1	3		4
10	1			1
11		2	2	4
12				0
13				0
14				0
15	1			1
16				0
17		1		1
18				0
19	2	3	1	6
20		1	1	2
21				0
22	4	2	2	8
23				0
24				0

628

629

630

631

632

633

634

635

636 Table 2. Number of rejected trials per subject in Experiment 2.

Subject/Cue	Y	X	ITI	Total
1	2	2	4	8
2	1		1	2
3				0
4				0
5	1			1
6		1	1	2
7				0
8			1	1
9	1		1	2
10				0
11	1	2	1	4
12	2	3	2	7
13				0
14	2			2
15		4		4
16				0
17		1		1
18				0
19	2	2	1	5
20	1	2	1	4
21				0
22				0
23	1			1
24				0

637

IV

The effect of cognitive load and outcome congruency on the learned predictiveness effect in human predictive learning

Jorge A. Pinto, Edgar H. Vogel, and Daniel E. Núñez*

Universidad de Talca, Facultad de Psicología, Talca, Chile

The learned predictiveness effect or LPE is the finding that when people learn that certain cues are reliable predictors of an outcome in an initial stage of training (phase 1), they exhibit a learning bias in favor of these cues in a subsequent training involving new outcomes (phase 2) despite all cues being equally reliable in phase 2. In Experiment 1, we replicate the basic effect and found that the addition of a secondary memory task during phase 2 had no reliable influence on the LPE. In Experiment 2, we demonstrated that the same secondary task can either facilitate or disrupt the LPE, depending on whether the outcomes of phase 1 were affectively congruent or incongruent with the outcomes of phase 2. These findings are discussed in relationship to associative and inferential accounts of LPE.

Research has shown that when people learn new predictive relations between several cues and an outcome, they often exhibit a positive bias towards those cues that have been shown to be more reliable predictors of other outcomes in the past. The typical experiment demonstrating this so-called “learned predictiveness effect” or LPE comprises three phases. The first phase involves pairing of 4 compounds (AV, AW, DX and DY) with outcome 1 and other 4 compounds (BV, BW, CX, and CY) with outcome 2, such that each compound is formed by one element that is consistently paired with the same outcome (the so-called predictive cues: A, B, C and D) and one element that is equally paired with the two outcomes (the so-called nonpredictive cues: V, W, X and Y). In the second phase, participants learn to predict the occurrence of two new outcomes, O3 and O4, which are

* Acknowledgments: This work was supported by grant from Fondecyt N° 11140099 to Daniel Núñez. Correspondence to: Daniel E. Núñez. Universidad de Talca, Facultad de Psicología. Talca, Chile. E-mail: dnunez@utalca.cl

arranged to be reliably predicted by 4 novel compounds, each comprising one predictive and one nonpredictive cue from phase 1 (e.g., AX→O3 and BY→O4). In a final testing phase, evidence of the LPE comes from demonstrations of better learning of the O3 versus O4 discrimination for the cues that were predictive in phase 1 relative to those cues that were not (Le Pelley & McLaren, 2003; Lochmann & Wills, 2003). The empirical reality of the effect has been well established with a range of procedures (see Le Pelley, Mitchell, Beesley, George, & Wills, 2016 for a review) and there is relative agreement in that it is related to a diminished attention allocated to the nonpredictive cues during the second stage of training (Beesley & Le Pelley, 2011; Le Pelley, Suret, & Beesley, 2010; Le Pelley, Vadillo, & Luque, 2013; Mitchell, Griffiths, Seetoo, & Lovibond, 2012). But how or why this differential attention might occur is now being subjected to considerable debate. Roughly, it can be said that the interpretations fall into two classes: associative and propositional.

Associative interpretations are based on the assumption that predictive learning involves the formation of a link between the representation of a cue and the representation of an outcome. This link or association is formed in a relatively automatic way through direct experience with these representations; that is with little cognitive control and effort. Within this framework, one possible interpretation of LPE is that the differential acquisition of the O3/O4 discrimination in the second phase of the experiment is due to the fact that the participants learned “associatively” to attend more to the predictive than to the non-predictive cues of phase 1. Although this effect might be described through various associative mechanisms, the predominant explanation is based on Mackintosh’s (1975) proposal that the amount of associability or attention allocated to a cue in a given trial depends on whether this cue was or was not the best predictor of its outcomes in the past. One appeal of this explanation is that it is based on the same mechanism that might underlie some related observations on Pavlovian conditioning with non-humans, such as “learned irrelevance” (e.g., unpaired presentations of the experimental stimuli retard the subsequent acquisition of a conditioned response; Mackintosh, 1973) or “extra-dimensional shift effects” (e.g., learning that one stimulus dimension is irrelevant for solving a task, retards the acquisition of a subsequent discriminative response in which that dimension is relevant; Shepp & Schrier, 1969).

In contrast, propositional interpretations of predictive learning (Mitchell, De Houwer & Lovibond, 2009) would posit that the LPE is mainly the result of an effortful higher-order cognitive process where participants would infer that whatever was useful to solve the task in phase

1, might also be useful to solve the task in phase 2. The usage of this inferential process would lead the participants to pay more or exclusive attention in phase 2 to the previously predictive cues of phase 1, which would be reinforced by the fact that the discrimination between O3 and O4 is successfully solved by means of this strategy. Thus, the propositional view is equally successful than the associative view in embracing the well documented fact that the nonpredictive cues are less attended in the second phase. The appeal of this account is that it provides a natural explanation for the fact the LPE can be abolished by declarative instructions, such as simply telling the participants that the predictive value of the cues in phase 1 will be reversed in phase 2 (e.g., Mitchell et al., 2012).

Although these two types of accounts appear to be quite opposite, they are not mutually exclusive. That is, the LPE might result from the use of both, automatic bias and inferential processes acting in parallel or interacting. Consistent with this two-process view, some authors have provided evidence that although the LPE effect can be abolished by explicit instructions (e.g., by a controlled process), it cannot be totally reversed, even when the participants are told that the nonpredictive cues will be relevant in phase 2 and that the predictive cues will not (Shone, Harris, & Livesey, 2015; Don & Livesey, 2015). From this data, it might be argued that in the majority of the procedures demonstrating the LPE, both associative and propositional influences might be at work, associative influences being particularly effective with extended training (e.g., Don & Livesey, 2015; Logan, 1988; Mackintosh, 1969; Schneider & Shiffrin, 1977) and propositional inferences being particularly effective when the participants have reasons to assume that cue reliability is transferable between the two phases and when they have sufficient cognitive resources available to make a relatively effortful inference (e.g., Mitchell et al., 2012).

The aim of the following experiments was to further develop our understanding of the way in which these factors might influence the degree to which the LPE can be observed. In particular, the two experiments examined the effect of cognitive load and interphase similarity on the LPE using a conventional procedure that has been proved to be useful to study this phenomenon in previous research.

EXPERIMENT 1

The first goal of this experiment was to replicate the learned predictiveness effect with our participants and procedures. For this, we employed the standard conceptual design of learned predictiveness and an

experimental situation similar to that of Le Pelley, Beesley, and Griffiths (2011). The task consisted of asking participants to learn to predict which sound will be played in the computer (outcome) after the presentation of a compound of two symbols (cues). As outlined in Table 1, in phase 1 participants were exposed to a sequence of slides or trials in which compounds AV, AW, DX and DY were followed by outcome 1 and compounds BV, BW, CX, and CY were followed by outcome 2. According to these contingences, cues A-D were designated as the “predictive cues” and cues V-Y were designated as the “nonpredictive cues”. In phase 2, four new compounds comprising one predictive and one nonpredictive cue were formed (AX, BY, CV, DW) and participants learned which of two new sounds (O3 and O4) were predicted by them. After viewing the two phases, participants were asked to rate the extent to which novel compounds formed by predictive cues (AC and BD) and novel compounds formed by nonpredictive cues (VX and WY) predict O3 and O4. Ratings reflecting better O3-O4 discrimination for the “predictive compounds”, AC and BD, than for the “nonpredictive compounds”, VX and WY, would be taken as evidence of LPE.

Given the current controversy about the nature of the LPE, and considering the supposition that controlled processes are demanding of working memory capacity in a way that automatic processes are not (e.g., Wills, Graham, Koh, McLaren, & Rolland, 2011; Schneider, & Shiffrin, 1977), the second aim of the experiment was to examine the influence of cognitive load during phase 2 training on the LPE. If the LPE depends, at least in part, on controlled processes operating in phase 2, it should be affected by a cognitive load manipulation during this stage of learning. In this experiment we follow this reasoning by comparing the potential LPE in two groups, with and without a secondary memory task performed during phase 2. The secondary task was a very simple digit-remembering procedure that we have demonstrated to be effective in disrupting some potential influences of controlled processes in predictive learning (Vogel, Glynn, & Wagner, 2015).

METHOD

Participants. Sixty-four students of University of Talca participated in the experiment in exchange for course credit. They were tested individually and had no previous experience in similar research. Participants were randomly assigned to Group No Load (n=32) or to Group Load (n=32).

Materials. Stimuli were presented and data collected with a personal computer connected to a 15-inch color screen and programmed with the E-prime software (Version 1.1; Psychology Software Tools, Inc., Pittsburgh, PA). The cues designated as A-D and V-Y in Table 1 were represented by eight symbols (#, \$, {, %, @, X, >, =) and the outcomes designated as O1-O4 by words representing sounds (splash, laser, boom and ring) and their corresponding sound clip of 500 ms. of duration.

Table 1. Designs of Experiments 1 and 2. Letters A-Y represent different symbols that could be followed by outcomes 1 to 4 (i.e., O1-O4).

Phase 1	Phase 2	Test
AV→O1	AX→O3	AC
BV→O2	BY→O4	BD
AW→O1	CV→O3	VX
BW→O2	DW→O4	WY
CX→O2		
DX→O1		
CY→O2		
DY→O1		

Procedure. The major features of the task and the programming environment were patterned after Le Pelley et al. (2011). The instructions asked the participants to learn, through information presented on the computer screen, which sound will occur after the presentation of a pair of symbols.

The proper task began with phase 1 training as indicated in Table 1. Each trial type of this phase was presented once, in random order, in 24 blocks of 8 trials each. At the beginning of each trial, the sentence “What sound will occur after these symbols” (Verdana font 8-point-black) appeared on the center of the screen simultaneously with the two symbols (Verdana font 40-point-black) and the two possible outcomes (Verdana font 10-point-black). The symbols were presented in white rectangles measuring 25% x 20% of the display screen; one located in the top-center (75% of the vertical axis and 50% of the horizontal axis of the screen) and the other in the bottom-center (25% of the vertical axis and 50% of the horizontal axis of the screen) of the display. The possible outcomes were presented in white rectangles measuring 20% x 10% of the display screen; one to the left (50% of the vertical axis and 25% of the horizontal axis of the screen) and the other to the right (50% of the horizontal axis and 75% of the vertical axis of the display screen) of the sentence. This display remained unchanged until the participant clicked on one of the rectangles containing the outcomes. Once the participant entered his or her response, the color of the chosen rectangle changed into blue and after a delay of 600 ms., the programmed sound was played through the earphones for 500 ms. Next, the words “CORRECT” (in green) or “INCORRECT” (in red), were presented in the center of the screen for 1300 ms. The top panel of Figure 1 exemplifies the presentation of a pair of symbols and the modification that would occur if the participant responded that the pair was followed by “Boom”, and that this was, in fact, the programmed sound. The trial terminated with a new empty screen of 1 sec. duration. The screen background was grey throughout.

Once participants completed phase 1, they were presented with the following sentence: “*The first part of the task has finished. Next you are going to see the same symbols but combined in different pairs that provoke two new sounds. Now, your task is to decide which sound will occur after each pair of symbols*”. Then, the participants of both groups received 6 blocks comprising each of the 4 trial types of phase 2. The procedure was identical to phase 1, except that the location of symbols and outcomes in the display was switched. That is, in phase 2 the symbols were located at the left and right center of the display and the outcomes in the top- and bottom-center of the display. The middle panel of Figure 1 exemplifies the presentation of a pair of symbols and the modification that would occur if the participant responded that the pair was followed by “Splash”, and that this was not the programmed sound.

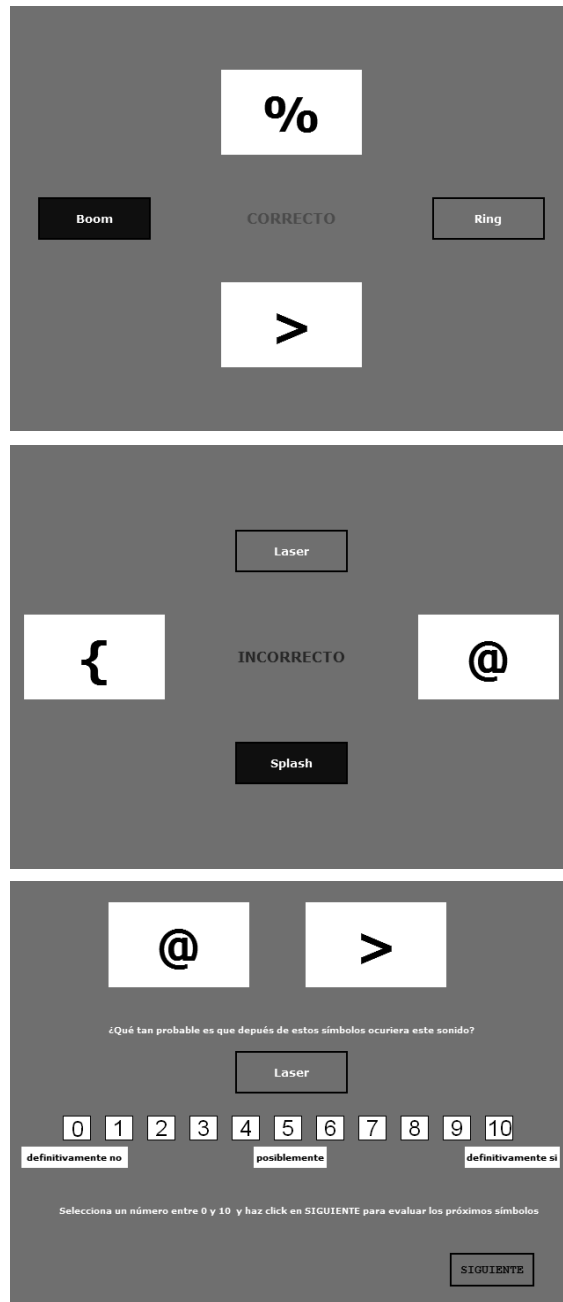


Figure 1. Examples of the screens presented to the participants during phase 1 (top panel), phase 2 (middle panels) and testing (bottom panel) in Experiment 1.

Participants in Group Load were asked to perform a digit-remembering task concurrently with the causal learning task during phase 2. For this, in addition to the instructions for phase 2 provided to both groups at the end of phase 1, they were introduced to the digit remembering task. For the secondary task, at the beginning of each trial of phase 2, the computer presented the sentence: *“Remember the following number”*, followed by the appearance a three-digit number for 1 sec. After 3 sec., of blank screen, the symbols for that trial were presented, and participants made a prediction and received feedback. Immediately thereafter, a new screen appeared with the text *“Type the number you were remembering and press RETURN to move to the next trial”*, and participants had an opportunity to report the three-digit number. Apart from this, the phase 2 training for Groups Load and No load was identical.

Upon completion of phase 2, the participants of both groups were presented with the testing trials. During this phase, a pair of symbols appeared in the top center of the screen together with the following instruction: *“How likely is that after these symbols the following sound will occur? Click the button below to hear the sound”*. A rectangle with the word representing O3 was presented underneath the instructions. Participants clicked on this box to play sound O3, which also brought up a rating scale from 0 (definitely not) to 10 (definitely yes), which they used to rate the compound. On the immediately succeeding test trial, participants rated the same cues with respect to outcome 4. The four tested compounds, AC, BD, VX and WY, appeared at random order. The bottom panel of Figure 1 depicts an example of one test trial.

The assignment of specific symbols to the conditions A-D and V-Y was partially counterbalanced across participants of each group by means of their different allocation in one of four subgroups, each with a different assignment of symbols as A-Y. Specifically, in subgroup 1 the assignment for A, B, C, D, V, W, X and Y was #, \$, {, %, @, X, >, and =, respectively. Subgroup 2 was identical to subgroup 1 except that the symbols used for the predictive cues A, B, C and D were switched with the symbols of the corresponding nonpredictive cues V, W, X, and Y. Subgroups 3 and 4 were identical to subgroups 1 and 2 respectively, except that the symbol assigned to one cue was switched with the symbol assigned to the following cues (e.g., A with B, C with D, V with W, and X with Y). This counterbalancing ensured that the critical compounds were composed equally often by the same pairs of symbols. The position (top vs. bottom in phase 1 and left vs. right in phase 2) of the symbols forming a compound was equated across the experiment. That is, in half of the trials the stimuli were presented in one position and in the other the relative position was reversed. There were

two different assignments of sounds to the outcomes. Specifically, in one case O1, O2, O3 and O4, were represented by boom, ring, laser and splash respectively; and by laser, splash, boom and ring, respectively in the other case.

Since there were 4 different symbol assignments and 2 outcome assignments, there were a total of 8 different participant conditions. The experiment was run in two replications, each consisting of 16 participants distinguished by assignment to one of the two training groups, No Load or Load, and within each such group to one of the two outcome assignment and the four different symbols assignments.

Statistical analysis. Learning over training in the No Load and Load groups was examined through the mean percent of correct responses over successive blocks of 8 trials (phase 1) or successive blocks of 4 trials (phase 2), which were each statistically analyzed using a Group X Block mixed design ANOVA.

For the test data, a discrimination ratio for each compound was calculated by dividing the rating of the paired outcome by the sum of the ratings of the paired and of the alternate outcome (i.e., $O3 / (O3 + O4)$ for AC and VX and $O4 / (O4 + O3)$ for BD and WY). This produced ratios ranging from 0 to 1, where scores greater than 0.5 indicate that the correct cue-outcome contingency of phase 2 was learned. These ratios were analyzed by a 2 (Group: No Load vs. Load) X 2 (Cue: Predictive vs. Non predictive) mixed design ANOVA.

It has been commonly recognized that the LPE is expected to occur only if participants have learnt the contingencies of phase 1 (Le Pelley & McLaren, 2003; Mitchell et al., 2012). On the other hand, it is also expected that any difference between predictive and nonpredictive cues that resulted from phase 1 should be apparent right from the beginning of phase 2; and because of this, LPE is assumed to be relatively independent of the amount of learning reached in the second phase. Thus, the majority of studies on the LPE have adopted selection criteria based exclusively on phase 1 performance (e.g., Don & Livesey, 2015; Le Pelley, Calvini & Spears, 2013; Le Pelley & McLaren, 2003; Le Pelley et al., 2011; Mitchell et al., 2012; Shone et al., 2015). Consequently, we set a criterion of 50% or more accuracy in phase 1 of the experiment. One participant in Group No Load and 2 participants in Group Load failed to meet this selection criterion, so their data were excluded from all analyses. Also, in order to reduce error variance with the critical testing data, we planned to remove outliers using the interquartile range rule (Leys, Ley, Klein, Bernard, & Licata, 2013;

Myers & Well, 1995). Specifically, outliers were defined as participants whose difference between the discrimination ratios of predictive and nonpredictive cues was smaller than $Q1-1.5*IQR$ or greater than $Q3+1.5*IQR$, where Q1, Q2, and IQR stand for quartile 1, quartile 2, and interquartile range, respectively of each group. With this method, no outliers were found in the present experiment. This left 31 participants in Group No Load and 30 participants in Group Load.

RESULTS AND DISCUSSION

Figure 2 presents the mean percent of correct responses over successive blocks of 8 trials (phase 1) or successive blocks of 4 trials (phase 2) for Groups No load and Load. As expected, participants in the two groups exhibited a very similar pattern of acquisition in phase 1. This was confirmed by the mixed design ANOVA, which showed a reliable main effect of Block, $F(23, 1357) = 35.322$, $p < 0.001$, partial $\eta^2 = 0.374$, but no reliable effect of Group, $F(1, 59) = 1.779$, $p = 0.187$, partial $\eta^2 = 0.029$, or Group X Block interaction, $F(23, 1357) < 1$. The bottom plot shows that, despite the concurrent memory task performed by Group Load, the acquisition of phase 2 contingencies was similar in the two groups, which is supported by a reliable main effect of Block, $F(5, 295) = 17.526$, $p < 0.001$, partial $\eta^2 = 0.229$, but no reliable effects of Group, $F(1, 59) < 1$, or Group X Block interaction, $F(5, 295) < 1$. These data show clearly that participants learned the task in both phases. The percentage of correct responses of groups No Load and Load, respectively, was 84.48% and 91.33% in the last block of phase 1 and 82.26% and 78.33% in the last block of phase 2.

Figure 3 depicts the mean discrimination ratios for the predictive (AC and BD) and nonpredictive (VX and WY) compounds in Groups No Load and Load in testing. The figure shows that although all four discriminations indexes are above 0.5 -reflecting an appropriate learning of phase 2 contingencies- the data revealed a trend to an LPE in the form of lower discrimination ratios for the nonpredictive compounds than for the predictive compounds in both groups. Accordingly, the 2 (Cue: predictive vs. non predictive) X 2 (Load: No Load vs. Load) ANOVA revealed only a reliable main effect of Cue, $F(1, 59) = 5.925$, $p = 0.018$, partial $\eta^2 = 0.091$ (all remaining $ps > 0.335$).

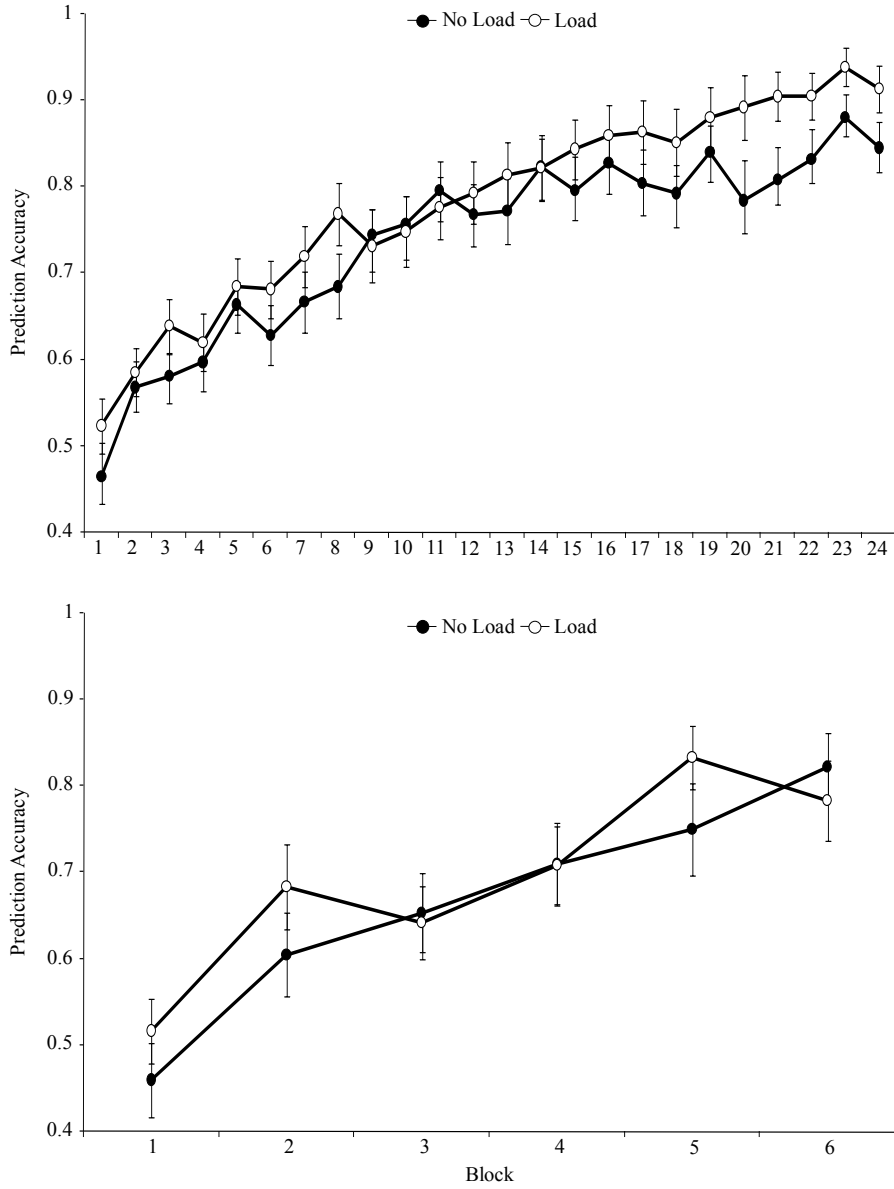


Figure 2. Mean proportion of correct responses over the training blocks of phase 1(top plot) and phase 2 (bottom plot) of Groups No Load and Load of Experiment 1. The error bars represent to standard error of the mean.

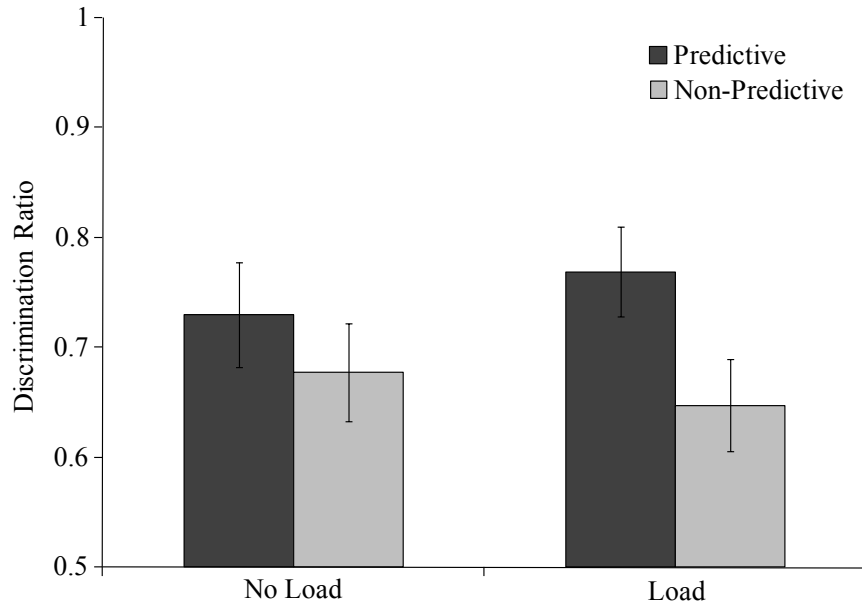


Figure 3. Mean discrimination ratios during testing for the predictive and nonpredictive compounds of Groups No Load and Load of Experiment 1. The error bars represent to standard error of the mean.

One conclusion that might be drawn from this pattern is that Experiment 1 replicated the LPE observed in several others studies and that the current load manipulation was inconsequential. As reasonable as this conclusion might be, there are some aspects of our data that suggest an alternative interpretation. First, notice in Figure 3 that the difference between predictive and nonpredictive cues was greater in the Load than in the No Load condition. Although this difference did not reach statistical significance in the form of a reliable Cue X Group interaction (i.e., $F(1, 59) < 1$), we computed the simple effects of cue in each group to assess the reliability of the LPE in each group. The difference between predictive and nonpredictive cues was reliable in Group Load, $F(1, 59) = 5.707$, $p = 0.020$, partial $\eta^2 = 0.088$ but not in Group No Load, $F(1, 59) = 1.087$, $p = 0.301$, partial $\eta^2 = 0.018$.

Thus, contrary to our expectation the LPE seems to be greater in Group Load than in Group No Load. Although this pattern might be due to just random variation, it is somehow puzzling that it is not anticipated neither by associative nor by propositional accounts of the LPE. Indeed, if this effect were reliable, it would suggest that cognitive load and LPE interact in a more complex manner than we originally thought. One possibility is that perhaps some aspects of the instructions or the task itself encouraged some participants to think that the two phases were sufficiently independent from each other. Thus, they may have supposed that those cues that were the best predictors of certain outcomes in phase 1 will not be, necessarily, the best predictors of new outcomes in a subsequent stage. Thus, it might be the case that the automatic process that biased the participants towards ignoring the “nonpredictive cues” of phase 1 competed with an effortful cognitive process by which they attempted to avoid what they think is an incorrect resolution of the task. According to this hypothesis, the competition will most likely be resolved in favor of the learned predictiveness bias if the cognitive process is weakened (e.g., by cognitive load). Experiment 2 was designed to comment further on this possibility.

EXPERIMENT 2

In search for a possible explanation of why our experimental procedure might have encouraged participants to consider the two phases as independent, we noticed that the outcomes we used in the two phases of Experiment 1 can reasonably be classified as “strong and aversive” sounds (ring and boom) or as “soft and pleasant” sounds (laser and splash). Although the presentation of each sound in phases 1 and 2 was counterbalanced, all participants received the “aversive” sounds (e.g., ring and boom) in one phase and the “pleasant” sounds in the other (laser and splash). Although this is a post-hoc and very subtle observation, it is consistent with a study by Le Pelley, Oakeshott, Wills, and McLaren (2005) who demonstrated that outcome’s nature might affect the emergence of LPE. They found that when the affective valence of the outcomes was similar in both phases (e.g., aversive: allergic reactions), there was a robust LPE, but when outcomes were different (e.g., aversive: allergic reactions vs. appetitive: enjoyment reactions), there was a null effect. As Le Pelley et al. (2005) suggested, this might mean that the automatic mechanism that controls changes on cue-associability is reinforcer specific. But, an inferential account it is equally plausible. That is, it could be argued that the

more similar are the two phases, the more likely it is that the participants infer generalizability of the predictive value of the cues across the phases.

Experiment 2 was designed to further examine this issue by assessing the effects of two variables on the LPE. One variable was the congruence in the valence of the outcomes of phase 1 and phase 2 and the other variable was cognitive load. In a “congruent” condition, participants were presented with outcomes of similar affective valence in both phases, while in the “incongruent” condition they received outcomes with different affective valence in each phase. If, as suggested by Le Pelley et al. (2005) and by the results of our Experiment 1, outcome congruency was an important determinant of LPE, then the effect should be more likely to be found in the congruent than in the incongruent condition. Furthermore, if the influence of outcome congruency on the LPE is driven by a controlled process, it is expected that cognitive load will have opposite effects in the congruent and incongruent conditions. Thus, half of the participants in each condition were presented with the same secondary memory task as that used in Experiment 1. Since we hypothesize that the associative and inferential processes would “cooperate” to produce an LPE in the congruent condition but that they would “compete” with each other in the incongruent condition, we expect that cognitive load would reduce the likelihood of the LPE in the congruent condition but would increase it in the incongruent condition.

In summary, in Experiment 2 the LPE was compared in four groups resulting from a 2 x 2 design manipulating the similarity in the affective valence of the outcomes across phases (Congruent vs. Incongruent conditions) and cognitive load during phase 2 (No Load vs. Load conditions).

METHOD

Participants. A total of 128 students of University of Talca participated in the experiment in exchange for course credit. They were tested individually and had no previous experience in similar research. Participants were randomly assigned to the following conditions: Congruent No Load (n =32), Congruent Load (n=32), Incongruent No Load (n =32) and Incongruent Load (n=32).

Materials and procedure. All of the materials, procedure and statistical analysis were identical to those of Experiment 1 except for the following. First, we used new outcomes consisting of sounds that were unequivocally judged as pleasant or unpleasant by 10 independent

participants on a scale from 0 (unpleasant) to 10 (pleasant) points. Based on these ratings, we selected water ($M = 9.05$), birds ($M = 8.80$), bells ($M = 7.35$), and click ($M = 6.00$), as pleasant sounds; and alarm ($M = 1.70$) and boom ($M = 2.95$), as unpleasant sounds¹. Second, participants in the congruent condition experienced pleasant sounds in both phases (water and bells or click and birds, respectively, counterbalanced) and participants in the incongruent condition experienced pleasant sounds in phase 1 (water and bells) and aversive sounds (boom and alarm) in phase 2, or vice versa. Half of the participants in each condition performed a digit-remembering task concurrently with the causal learning task identical to that of Experiment 1. Third, the statistical analyses were similar to those of Experiment 1 except for the addition of Outcome-congruency as a 2-levels between-subjects factor in the ANOVAs.

All participants met the selection criterion of 50% or more correct responses in phase 1. Two participants of Group Incongruent-Load and 3 in Group Incongruent-No Load qualified as outliers according to the Interquartile Range Rule described above, so they were discarded from further analysis. This left 29 participants in Group Incongruent No Load, 32 participants in Group Congruent No Load, 30 participants in Group Incongruent Load, and 32 participants in Group Congruent Load.

RESULTS AND DISCUSSION

Figure 4 presents the mean percent of correct responses over training for all groups. The top plot shows that phase 1 was learned similarly by the four groups. This was confirmed by a 2 (Outcomes: Congruent vs. Incongruent) X 2 (Load: No Load vs. Load) X 24 (Blocks: 1-24) mixed design ANOVA, which showed a reliable effect of Block, $F(23, 2737) = 83.330$, $p < 0.001$, partial $\eta^2 = 0.412$ and no further reliable effects, $ps > 0.248$. The bottom plot shows that although acquisition of phase 2 contingencies was a bit slower in the load conditions, all 4 groups learned well the discrimination. The ANOVA confirmed this pattern with significant main effects of block, $F(5, 595) = 23.868$, $p < 0.001$, partial $\eta^2 = 0.167$ and of load, $F(1, 119) = 12.297$, $p = 0.001$, partial $\eta^2 = 0.094$ (all remaining $ps > 0.184$). This would suggest that, in addition to a potential interference with participant's inferences about the relative usefulness of the cues comprising each compound, the secondary task also impaired their rate

¹ A repeated measures ANOVA indicated a significant effect of sound, $F(5, 45) = 37.045$, $p < 0.001$. Post-hoc pairwise comparisons indicated that the mean ratings of all "pleasant" sounds were significantly greater than those of all "unpleasant" sounds ($ps < 0.034$).

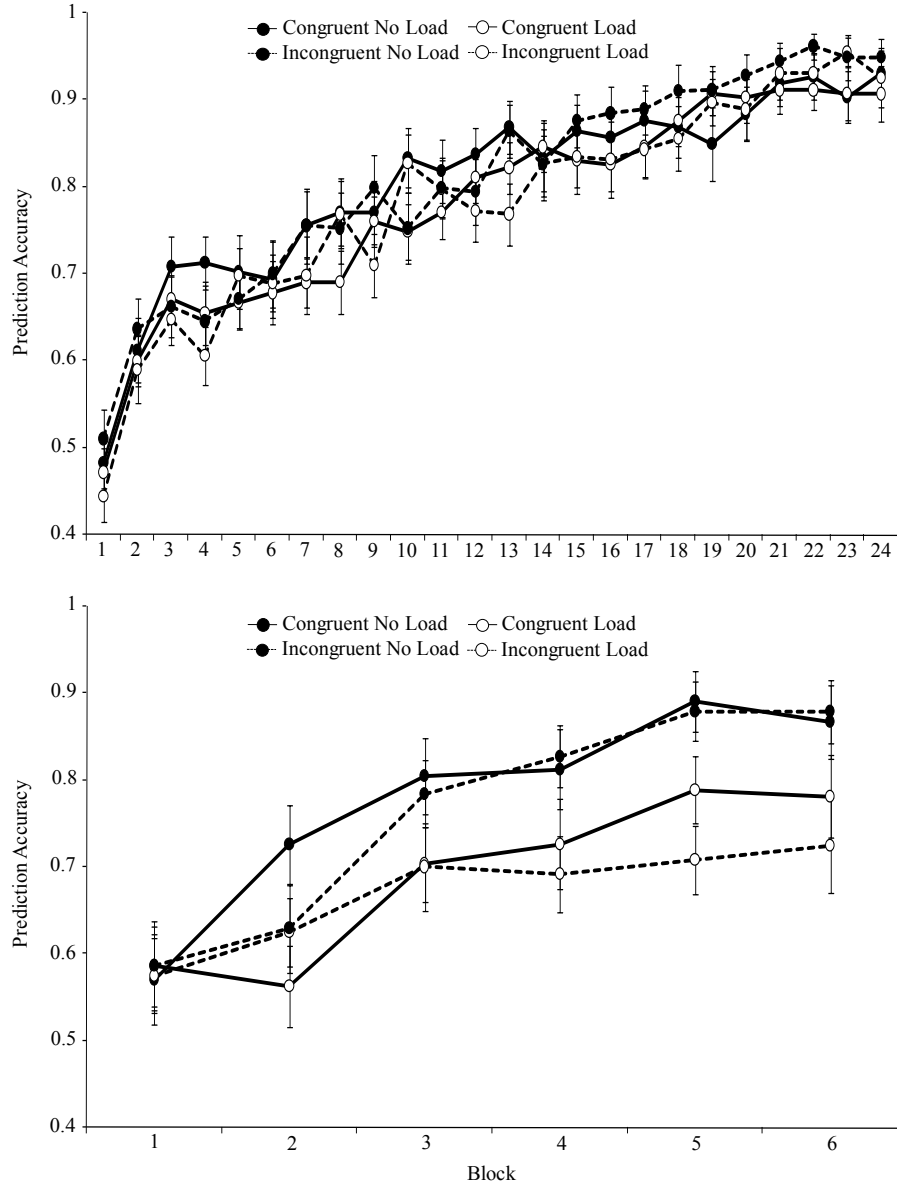


Figure 4. Mean proportion of correct responses over the training blocks of phase 1 (top plot) and phase 2 (bottom plot) for the four groups of Experiment 2. The error bars represent to standard error of the mean.

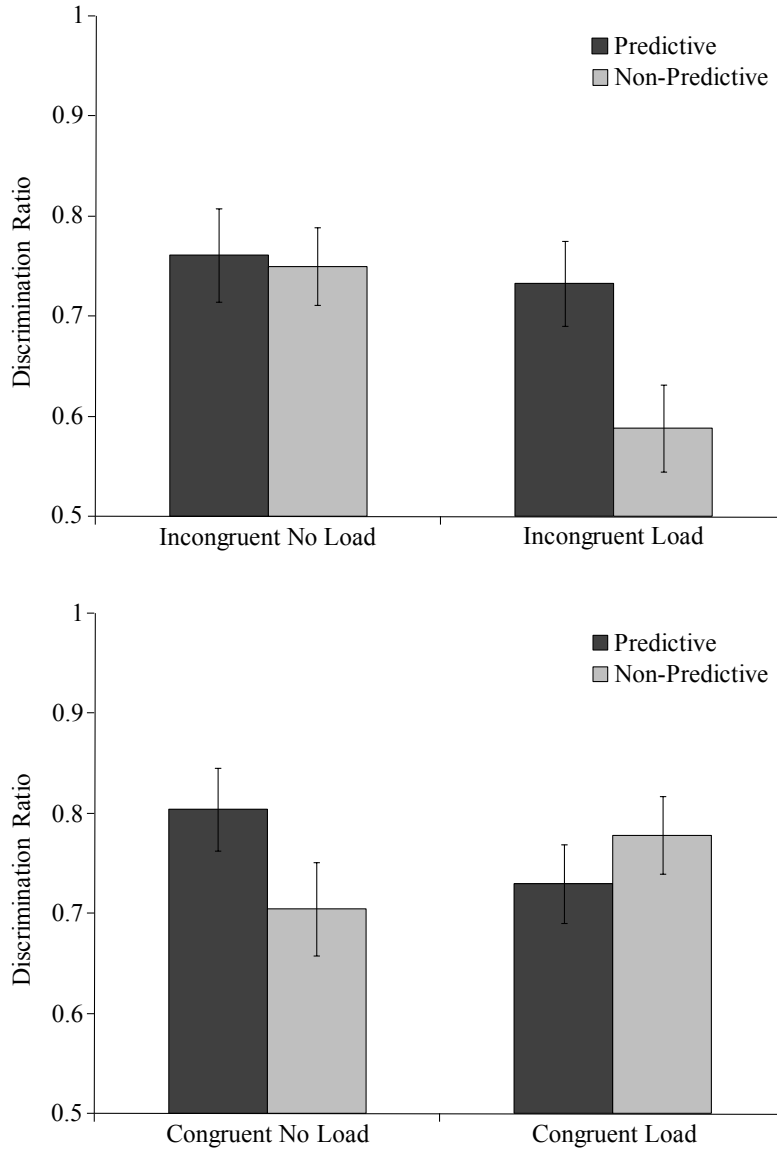


Figure 5. Mean discrimination ratios during testing for the predictive and nonpredictive compounds of the four groups of Experiment 2. The top plots depict the data of the Incongruent No Load (left-hand plot) and Incongruent Load (right-hand plot) groups and the bottom plots the data of the Congruent No Load (left-hand plot) and Congruent Load (right-hand plot) groups. The error bars represent to standard error of the mean.

of learning of the compounds as wholes. Since LPE is expected to occur independently of the degree of learning of phase 2, this result should have no impact in the critical comparisons at test. Furthermore, the absence of load x group interaction indicates that the effect of load is independent of the degree of congruency of the outcomes.

Figure 5 depicts the results of the testing phase for the 4 groups. As shown in the top plots, the pattern of results in the incongruent conditions is very similar to that observed in Experiment 1. That is, although both, the No Load and Load conditions exhibited some degree of LPE, in the form of higher discrimination ratios for the predictive than for the nonpredictive cues, the effect is more marked in the Load than in the No Load condition. Although the results with the incongruent condition replicate the descriptive pattern of Experiment 1, the bottom plot shows a different outcome for the congruent condition. That is, although participants in Group Congruent No Load produced higher discrimination ratios for the predictive than for the nonpredictive compounds, participants in Group Congruent Load exhibited just the opposite pattern. In agreement with these observations, the 2 (Cue: predictive vs non predictive) X 2 (Outcomes: Congruent vs. Incongruent) X 2 (Load: No Load vs. Load) ANOVA revealed a significant Cue X Outcomes X Load interaction, $F(1,119) = 9.571$, $p = .002$, partial $\eta^2 = .074$. Following this result, the cue x load interaction was reliable in the congruent, $F(1, 119) = 5.542$, $p = .020$, partial $\eta^2 = .083$, as well as in the incongruent condition, $F(1, 119) = 4.115$, $p = .045$, partial $\eta^2 = .067$. Finally, the simple effects of cue in each Load X Outcomes condition, revealed that the discrimination ratios for the predictive cues were significantly superior to those of the nonpredictive cues in the Congruent No Load, $F(1, 119) = 5.020$, $p = .027$, partial $\eta^2 = .040$ and Incongruent Load conditions, $F(1, 119) = 9.867$, $p = .002$, partial $\eta^2 = 0.077$. Conversely, no reliable difference between predictive and nonpredictive cues was observed in the Congruent Load, $F(1, 119) = 1.185$, $p = .278$, partial $\eta^2 = .010$, and Incongruent No Load, $F(1, 119) < 1$, conditions. In addition to this pattern of interaction and simple effects, the main effect of cues was reliable $F(1, 119) = 5.189$, $p = .025$, partial $\eta^2 = .042$. No further reliable effects were obtained.

These results indicate that the LPE was reliably affected by our cognitive load manipulation. However, the direction of the effect depended upon the convergence or similarity of the outcomes used in the two phases of the experiment. The fact that cognitive load appeared to either facilitate the LPE in the incongruent-outcome condition and to disrupt it in the congruent-outcome condition cannot be explained by purely outcome-specific associative mechanisms (Le Pelley et al., 2005) or by purely

inferential accounts (Mitchell et al., 2012). Our data instead, are more in line with a dual-process account of LPE in which inferences are assumed to interact with an associative process of selective attention (e.g., Don & Livesey, 2015). The assumption is that depending on some cognitive clues provided to the participants, these two processes might interact in either a cooperative or a competitive fashion.

GENERAL DISCUSSION

Overall, the present experiments demonstrate the effect of two variables on the LPE in human predictive learning: Outcome-congruency and cognitive load. The results of our “null hypothesis- significance testing- dichotomous decision”(Cohen, 1994) would lead us to conclude that our cognitive load procedure had a detrimental effect on the LPE when training was conducted with “affectively congruent” outcomes in the two phases (Experiment 2) and had either a facilitative (Experiment 2) or no demonstrable (Experiment 1) effect when training was conducted with incongruent outcomes. If we depart from this dichotomous decision procedure (Wilkinson & Task Force on Statistical Inference, 1999) and examine the means and confidence intervals of the critical effect in each group, a suggestive pattern appears. For this, Table 2 presents the means and confidence intervals for a “learned predictiveness index (LPI)” of the different groups involved in each experiment. The LPI was computed as the mean discrimination index for compounds involving predictive cues (AC and BD) minus the mean discrimination index for compounds involving nonpredictive cues (VX and WY). As can be seen, in the absence of cognitive load the degree of “affective similarity” or “congruency” between the outcomes used in the two phases of the experiment seems to be relevant to the LPE. Specifically, the mean LPI of Group Congruent No Load, in which efforts were made to create outcomes with similar affective valence across the two phases of training, was clearly superior to the mean LPIs of the Groups Incongruent No Load of Experiment 2 and No Load of Experiment 1, whose outcomes were incongruent. In general, the finding of greater LPI in participants trained with congruent outcomes, but not in participants without such an obvious congruency, is consistent with the data provided by Le Pelley et al. (2005).

Second, the addition of a secondary task (cognitive load) seems to have different effects on the LPE, depending on whether the outcomes of the two phases of training were congruent or incongruent. As seen in Table 2, the mean LPIs obtained by participants trained with incongruent

outcomes and cognitive load (Group Load of Experiment 1 and Group Incongruent Load of Experiment 2), were clearly superior than those of their respective No load counterparts (Groups No Load and Incongruent No Load of Experiments 1 and 2, respectively). In contrast, in the case of congruent-outcome conditions used in Experiment 2, the LPIs were clearly superior in the absence than in the presence of cognitive load. Our results revealing an opposite pattern (i.e., disruption of LPE by cognitive load in congruent condition, and a slight facilitation of LPE in incongruent condition) mirrors previous research, suggesting that a secondary working memory task does not always impair the performance (Woodman, Vogel, & Luck, 2001), but even it might reduce distraction and facilitate selective attention (Park, Kim, & Chun, 2007), which would depend on the interactions and overlaps between the contents of working memory and the type of information being processed (Kim, Kim, & Chun, 2005; de Fockert, & Bremner, 2011; San Miguel, Corral, & Escera, 2008). Within this sort of account, it would be necessary to determine which kind of information processing variables are responsible for such a differential susceptibility to cognitive load in the congruent and incongruent conditions.

Table 2. Mean and confidence intervals of learned predictiveness indexes (LPI) for Experiments 1 and 2.

Group /Experiment	LPI	CI 95%	Load	Outcomes
No load /Exp. 1	0.053	(-0.047, 0.153)	No	Incongruent
Load /Exp. 1	0.122	(0.020, 0.224)	Yes	Incongruent
Incong. No Load /Exp. 2	0.011	(-0.082, 0.104)	No	Incongruent
Incong. Load /Exp. 2	0.144	(0.053, 0.235)	Yes	Incongruent
Cong. No Load /Exp.2	0.100	(0.012, 0.189)	No	Congruent
Cong. Load /Exp. 2	-0.048	(-0.137, 0.040)	Yes	Congruent

From a purely empirical perspective, one conclusion that can be drawn from the present data is that the LPE is a complex phenomenon whose occurrence would depend on a number of interacting factors. Our data suggest that some variables such as the similarity between the outcomes and the availability of cognitive resources might be influential on the degree to which the LPE can be observed. This complex pattern is difficult to reconcile with explanations based solely on either associative mechanism (Le Pelley et al., 2005) or inferential processing (Mitchell et al., 2012). Instead, our data fit better with dual processes interpretations (Evans & Stanovich, 2013) in which associative and propositional factors interact in cooperative or competitive ways to produce an LPE with more or less ease.

There are a number of theoretical alternatives on how associative and propositional processes might interact (see Evans, 2003, 2008; Sloman, 1996). One possibility is that, in every learning situation, automatic processes are always present and dominate unless the learner is motivated and has the resources to engage in effortful controlled process (McLaren, Forrest, McLaren, Jones, Aitken, & Mackintosh, 2014). Thus, it can be assumed that during phase 1 of the experiments the participants progressively developed an automatic bias in favor of the processing of predictive versus nonpredictive cues in the future. If subsequently, by means of explicit instructions (Don & Livesey, 2015; Mitchell et al., 2012; Shone et al., 2015) or by some features of the experimental environment, such as the affective dissimilitude of the outcomes (Le Pelley et al., 2005; Experiments 1 and 2 in the present research) the participants are encouraged to consider the two phases as independent, the underlying automatic-LPE would be counteracted by a controlled process. In this competitive scenario, the LPE would still be apparent if the automatic process is made more compelling by a reduction in the cognitive resources that are required to exert the competing inference (the Incongruent Load conditions of Experiments 1 and 2). On the other hand, if the instructions or the features of the experimental environment encourage participants to believe in the transferability between the phases, then controlled processes would more likely cooperate with the automatic process leading to a robust LPE under the standard circumstances (Congruent No Load condition of Experiment 2). The null effect observed in the Incongruent No Load and Congruent Load conditions of Experiment 2 suggests that the involvement of controlled process is not trivial.

Of course this dual processes explanation is speculative and does not embrace our full pattern of data. For instance, it predicts the greatest LPE for the Congruent No Load condition, in which both automatic and

controlled processes should align to produce the effect. But our data suggest that in this condition the LPE was not greater than that in the Incongruent-Load condition, in which the automatic but not the controlled processes should contribute to the LPE. Likewise, the combined behavioral effect of automatic and controlled processes would require some quantitative refinement to make testable predictions on the relative size of the LPE under different conditions. Obviously, further research is needed to examine several experimental parameters that appear, in principle, to be critical for the reported effects. For now, it just suffices to nominate a few, such as the amount of training and the quantitative and qualitative features of cognitive load and interphase similarity of the outcomes.

Finally, there are some methodological limitations of our study that might be usefully considered in future research. First, we did not record performance in the secondary task, which could have been an efficient way of measuring the efficacy of this manipulation or for selecting participants for statistical analysis. Second, there are other and perhaps more efficient strategies to impose cognitive load (Park et al., 2007; Pratt, Willoughby, & Swick, 2011; Wills et al., 2011). Also, since the no load participants of our experiments did not perform a secondary task they differed from their load counterparts in several respects; such as motor responses, visual input across trials, and trial duration. Third, we used only pleasant outcomes in the congruent groups of Experiment 2, which imposes a limitation in the generality of the findings. Finally, since it has been suggested that causal rating scales are measures of causal reasoning rather than associative processing (Don & Livesey, 2015; Shone et al., 2015), it seems potentially useful to consider this distinction in future research involving the type of variables manipulated in the present research. Furthermore, this type of assessments can be complemented with additional measurements, such as eye gaze (Beesley Nguyen, Pearson & Le Pelley, 2015; Le Pelley et al., 2011) and electrophysiological recording techniques (Feldmann-Wüstefeld, Uengoer, & Schubö, 2015; Luque, Morís, Rushby, & Le Pelley, 2015).

RESUMEN

El efecto de la carga cognitiva y la congruencia de las consecuencias sobre el efecto de la predictibilidad aprendida en el aprendizaje predictivo humano. El efecto de la predictibilidad aprendida o LPE, es el hallazgo de que cuando las personas aprenden que algunos estímulos son predictores fiables de una consecuencia en una primera etapa del entrenamiento (fase 1), muestran un sesgo de aprendizaje a favor de éstos estímulos en un entrenamiento posterior que implica nuevas consecuencias (fase 2), a pesar de que todos los estímulos son igualmente fiables en la fase 2. En el

Experimento 1, replicamos el efecto básico y demostramos que la ejecución de una tarea de memoria secundaria durante la fase 2 no tuvo una influencia significativa sobre la LPE. En el Experimento 2, demostramos que la misma tarea secundaria puede facilitar o interrumpir la LPE, dependiendo de si las consecuencias de la fase 1 fueron congruentes o incongruentes afectivamente con las consecuencias de la fase 2. Estos hallazgos son discutidos en relación a las explicaciones asociativa e inferencial de la LPE.

REFERENCES

- Beesley, T., & Le Pelley, M. E. (2011). The influence of blocking on overt attention and associability in human learning. *Journal of Experimental Psychology: Animal Behavior Processes*, *37*(1), 114–120. doi:10.1037/a0019526.
- Beesley, T., Nguyen, K. P., Pearson, D., & Le Pelley, M. E. (2015). Uncertainty and predictiveness determine attention to cues during human associative learning. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, *68*, 2175–2199. doi:10.1080/17470218.2015.1009919
- Cohen, J. (1994). The earth is round ($p < .05$). *American Psychologist*, *49*(12), 997–1003. doi:http://dx.doi.org/10.1037/0003-066X.49.12.997
- de Fockert, J. W., & Bremner, A. J. (2011). Release of inattention blindness by high working memory load: Elucidating the relationship between working memory and selective attention. *Cognition*, *121*(3), 400–408. doi:10.1016/j.cognition.2011.08.016
- Don, H. J., & Livesey, E.J. (2015). Resistance to instructed reversal of the learned predictiveness effect. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, *68*(7), 1–21. doi:10.1080/17470218.2014.979212.
- Evans, J. B. T. (2003). In Two Minds: Dual-Process Accounts of Reasoning. *TRENDS in Cognitive Sciences*, *7*(10), 454–459. doi:10.1016/j.tics.2003.08.012.
- Evans, J. B. T. (2008). Dual-processing accounts of reasoning, judgment, and social cognition. *Annual Review of Psychology*, *59*, 255–278. doi:10.1146/annurev.psych.59.103006.093629.
- Evans, J. B. T., & Stanovich, K.E. (2013). Dual-process theories of higher cognition: Advancing the debate. *Perspectives on Psychological Science*, *8*(3), 223–241. doi:10.1177/1745691612460685.
- Feldmann-Wüstefeld, T., Uengoer, M., & Schubö, A. (2015). You see what you have learned. Evidence for an interrelation of associative learning and visual selective attention. *Psychophysiology*, *52*, 1483–1497. doi: 10.1111/psyp.12514
- Kim, S. Y., Kim, M. S., & Chun, M. M. (2005). Concurrent working memory load can reduce distraction. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, *102*(45), 16524–16529. doi: 10.1073/pnas.0505454102
- Le Pelley, M.E., Beesley, T., & Griffiths, O. (2011). Overt attention and predictiveness in human contingency learning. *Journal of Experimental Psychology: Animal Behavior Processes*, *37*(2), 220–229. doi:10.1037/a0021384.
- Le Pelley, M. E., Calvini, G., & Spears, R. (2013). Learned predictiveness influences automatic evaluations in human contingency learning. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, *66*(2), 217–228. http://dx.doi.org/10.1080/17470218.2012.708760
- Le Pelley, M.E., & McLaren, I.P.L. (2003). Learned associability and associative change in human causal learning. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology Section*

- B: *Comparative and Physiological Psychology*, 56(1), 68–79. doi:10.1080/02724990244000179.
- Le Pelley, M. E., Mitchell, C. J., Beesley, T., George, D. N., & Wills, A. J. (2016). Attention and associative learning in humans: An integrative review. *Psychological Bulletin*, 142(10), 1111–1140. <http://dx.doi.org/10.1037/bul0000064>
- Le Pelley, M.E., Oakeshott, S.M., Wills, A.J., & McLaren, I.P.L. (2005). The outcome specificity of learned predictiveness effects: Parallels between human causal learning and animal conditioning. *Journal of Experimental Psychology: Animal Behavior Processes*, 31(2), 226–36. doi:10.1037/0097-7403.31.2.226.
- Le Pelley, M.E., Suret, M.B., & Beesley, T. (2010). Learned predictiveness effects in humans: A function of learning, performance, or both? *Journal of Experimental Psychology: Animal Behavior Processes*, 36(1), 312–327. doi:10.1037/a0018657.
- Le Pelley, M.E., Vadillo, M., & Luque, D. (2013). Learned predictiveness influences rapid attentional capture: Evidence from the dot probe task. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 39(6), 1888–1900. doi:10.1037/a0033700.
- Leys, C., Ley, C., Klein, O., Bernard, P., & Licata, L. (2013). Detecting outliers: Do not use standard deviation around the mean, use absolute deviation around the median. *Journal of Experimental Social Psychology*, 49(4), 764–766. doi:10.1016/j.jesp.2013.03.013
- Lochmann, T., & Wills, A.J. (2003). Predictive history in an allergy prediction task. In F. Schmalhofer, R.M. Young & G. Katz (Eds.), *Proceedings of EuroCogSci 03: The European Conference of the Cognitive Science Society* (pp. 217–222). New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates.
- Logan, G.D. (1988). Automaticity, resources, and memory: Theoretical controversies and practical implications. *Human Factors*, 30(5), 583–598. doi:10.1177/001872088803000504.
- Luque, D., Morís, J., Rushby, J. A., & Le Pelley, M. E. (2015). Goal-directed EEG activity evoked by discriminative stimuli in reinforcement learning. *Psychophysiology*, 52, 238–248. doi: 10.1111/psyp.12302
- Mackintosh, N.J. (1969). Further analysis of the overtraining reversal effect. *Journal of Comparative and Physiological Psychology Monograph*, 67(2), 1–18. doi:<http://dx.doi.org/10.1037/h0026784>.
- Mackintosh, N. J. (1973). Stimulus selection: Learning to ignore stimuli that predict no change in reinforcement. In R. A. Hinde & L. S. Hinde (Eds.), *Constraints of learning* (pp. 75–96). London: Academic Press.
- Mackintosh, N. J. (1975). A theory of attention: Variations in the associability of stimuli with reinforcement. *Psychological Review*, 82(4), 276–298. doi:10.1037/h0076778.
- McLaren, I.P.L., Forrest, C.L.D., McLaren, R.P., Jones, F.W., Aitken, M.R.F., & Mackintosh, N.J. (2014). Associations and propositions: The case for a dual-process account of learning in humans. *Neurobiology of Learning and Memory*, 108, 185–195. doi:10.1016/j.nlm.2013.09.014.
- Mitchell, C. J., De Houwer, J., & Lovibond, P. F. (2009). The propositional nature of human associative learning. *Behavioral and Brain Sciences*, 32(02), 183–198. doi:10.1017/S0140525X09000855
- Mitchell, C.J., Griffiths, O., Seetoo, J., & Lovibond, P.F. (2012). Attentional mechanisms in learned predictiveness. *Journal of Experimental Psychology: Animal Behavior Processes*, 38(2), 191–202. doi:10.1037/a0027385.

- Myers, J., & Well, A. (1995). *Research design & statistical analysis*. Hillsdale, New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates.
- Park, S., Kim, M. S., & Chun, M. M. (2007). Concurrent working memory load can facilitate selective attention: evidence for specialized load. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *33*(5), 1062-1074. doi: 10.1037/0096-1523.33.5.1062
- Pratt, N., Willoughby, A., & Swick, D. (2011). Effects of working memory load on visual selective attention: behavioral and electrophysiological evidence. *Frontiers in human neuroscience*, *5*, 1-9. doi: 10.3389/fnhum.2011.00057
- San Miguel, I., Corral, M. J., & Escera, C. (2008). When loading working memory reduces distraction: behavioral and electrophysiological evidence from an auditory-visual distraction paradigm. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *20*(7), 1131-1145. doi:10.1162/jocn.2008.20078
- Schneider, W., & Shiffrin, R. M. (1977). Controlled and automatic human information processing: I. Detection, search, and attention. *Psychological Review*, *84*(1), 1-66. doi:10.1037/0033-295X.84.1.1.
- Shepp, B.E., & Schrier, A.M. (1969). Consecutive intradimensional and extradimensional shifts in monkeys. *Journal of Comparative and Physiological Psychology*, *67*(2), 199-203. doi:http://dx.doi.org/10.1037/h0026785.
- Shone, L.T., Harris, I.M., & Livesey, E.J. (2015). Automaticity and cognitive control in the learned predictiveness effect. *Journal of Experimental Psychology: Animal Learning and Cognition*, *41*(1), 18-31. doi:http://dx.doi.org/10.1037/xan0000047.
- Sloman, S.A. (1996). The empirical case for two systems of reasoning. *Psychological Bulletin*, *119*(1), 3-22. doi:10.1037/0033-2909.119.1.3.
- Vogel, E. H., Glynn, J. Y., & Wagner, A. R. (2015). Cue competition effects in human causal learning. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, *68*(12), 2327-2350. doi:10.1080/17470218.2015.1014378
- Wilkinson, L., & Task Force on Statistical Inference (1999). Statistical methods in psychology journals: Guidelines and explanations. *American Psychologist*, *54*(8), 594-604. doi:http://dx.doi.org/10.1037/0003-066X.54.8.594
- Wills, A.J., Graham, S., Koh, Z., McLaren, I.P.L., & Rolland, M.D. (2011). Effects of concurrent load on feature- and rule-based generalization in human contingency learning. *Journal of Experimental Psychology: Animal Behavior Processes*, *37*(3), 308-316. doi:10.1037/a0023120.
- Woodman, G. F., Vogel, E. K., & Luck, S. J. (2001). Visual search remains efficient when visual working memory is full. *Psychological Science*, *12*(3), 219-224. <http://www.jstor.org/stable/40063582>