

Retroalimentación, recompensa y castigo: efectos sobre el aprendizaje secuencial ¹

Nayamin E. Aceves

Daniel Zarabozo ²

Héctor Martínez Sánchez

Saira Mayte García

Imelda Parra Cuamba

Universidad de Guadalajara, (México)

Resumen.

En una tarea de tiempo de reacción serial (SRT^T por sus siglas en inglés) 121 universitarios divididos en tres grupos respondieron de manera diferenciada ante cuatro estímulos recibiendo una recompensa (dinero), castigo (costo de respuesta) o retroalimentación visual respectivamente y en un grupo control que no tuvo consecuencias. La ejecución se evaluó mediante el tiempo de reacción (TR) y las respuestas correctas (RC). Los resultados mostraron que en todos los grupos se replicaron los datos típicos bajo esta tarea. El TR disminuyó a lo largo de los bloques secuenciales y aumentó en un bloque aleatorio final en todos los grupos. Las respuestas correctas se incrementaron a lo largo de la tarea para todos los grupos. Hubo diferencias en TR entre los grupos Recompensa y Control teniendo el primero los valores menores. El grupo Castigo obtuvo más dinero que el de Recompensa, aunque para el grupo Castigo resultó una menor proporción de sujetos que pudieron reportar verbalmente la secuencia (*i.e.*, sujetos explícitos). La Recompensa se asoció con una mejor ejecución (mayor disminución del TR) y el Castigo con un efecto negativo en el reconocimiento de la secuencia. Un hallazgo relevante fue que las proporciones de sujetos explícitos e implícitos fueron similares bajo la recompensa y la retroalimentación, mientras que ante el castigo la proporción de explícitos fue la más baja, incluso que la del grupo control. Se concluyó que sería necesario un aumento en la motivación generada por la recompensa o el castigo de los participantes para producir diferencias sustanciales en el aprendizaje y por lo tanto en el Índice de Aprendizaje Secuencial (IAS).

Palabras clave: *aprendizaje secuencial implícito, recompensa, castigo, retroalimentación, tiempo de reacción, presionar una tecla, humanos.*

Abstract

In a serial reaction time task (SRT^T), 121 university students divided into three experimental and one control groups responded differentially to four visual stimuli. The groups received a reward (money), punishment (cost of response) or visual feedback respectively and a control group linked to no consequences. The

¹ La referencia del artículo en la Web es: <http://conductual.com/content/retroalimentaci%C3%B3n-recompensa-y-castigo-efectos-sobre-el-aprendizaje-secuencial>

² Correspondencia: Daniel Zarabozo, Laboratorio de Psicofisiología de Procesos Perceptuales, Instituto de Neurociencias, CUCBA, Universidad de Guadalajara, México Francisco de Quevedo 180, Arcos Vallarta, CP 44130, Guadalajara, Jalisco, México. E-mail: dzaraboz@cencar.udg.mx

performance was evaluated by measuring the reaction time and correct responses. As expected, the reaction time decreased along sequential blocks and increased in the randomized block for all groups. The reward group displayed lower reaction times compared to the control group, whereas the punishment group accumulated more money than the reward group, although for the punishment group there were a lower proportion of subjects who could verbally report that there was a sequence (i.e., explicit subjects). The reward was associated with better performance (higher decrease in reaction times) and punishment with a negative effect on the recognition of the sequence. Correct responses were increased throughout the task for all groups. A relevant issue was that the proportion of explicit and implicit subjects was similar under reward and feedback conditions, whereas in the case of punishment, the proportion of explicit subjects was the lowest. It was concluded that an increase in the motivation to solve the task generated by the reward or punishment conditions would be necessary to produce substantial differences in learning and therefore in the sequential learning index.

Keywords: *sequential learning, reward, punishment, feedback, reaction time, key press, human.*

Cuando un organismo debe interactuar con su medio ambiente para sobrevivir, conseguir comida, refugio, evitar depredadores, predecir el clima, etc., debe modificar su comportamiento, discriminando las regularidades en el ambiente que actúan como pistas que le preparan para emitir las respuestas más adecuadas. Dentro del laboratorio una manera sintética de exponer a los participantes a una situación similar ha sido la utilización de pruebas de aprendizaje secuencial. Tanto las gramáticas artificiales (Reber, 1967) como la tarea de tiempo de reacción serial, (SRTT por sus siglas en inglés) (Nissen & Bullemer, 1987) han sido dos de los modelos más utilizados para acercarse al problema de cómo los organismos aprenden de las regularidades en el ambiente (Baldwin & Kutas, 1997; Boyer, Destrebecqz & Cleeremans, 1998; Eimer, Goshchke, Schlaghecken & Stürner, 1996; Ferdinand, Mecklinger & Kray, 2008; Kelly, Burton, Riedel & Lynch, 2003; Willingham, Bullemer & Nissen, 1989).

En un experimento típico utilizando la SRTT los participantes observan la aparición de cuatro estímulos secuenciados en la pantalla de un monitor. La tarea de los participantes es responder a la presencia de cada estímulo presionando la tecla que corresponde a cada uno. La tarea original utilizaba un mismo estímulo colocado en una de cuatro ubicaciones diferentes sobre la pantalla, por lo que la secuencia se formó con las diferentes ubicaciones del estímulo (Jiménez, Méndez, & Cleeremans, 1996; Keele, Jennings, Jones, Caulton, & Cohen, 1995; Nissen & Bullemer, 1987; Stadler, 1992). En esta tarea la presentación de los estímulos y la secuencia siguen un criterio de ubicación espacial. En una variación de la tarea original la secuencia puede formarse también con estímulos distintos que aparecen en el mismo lugar (criterio de ubicación fija) (Eimer, Goschke, Schlaghecken & Stürmer, 1996; Ferdinand, Mecklinger & Kray, 2008). En una SRTT se solicita al participante que responda correctamente y lo más rápidamente posible a cada estímulo de un bloque con un número de ensayos programados, pero no se le informa sobre la existencia de la secuencia de los estímulos. Los ensayos se presentan en dos tipos de bloque: secuencial y de transferencia. Un bloque de transferencia está formado por los mismos estímulos pero sin seguir alguna secuencia y generalmente se inserta al final de la SRTT. Un resultado común es que a lo largo de los bloques secuenciales el tiempo de reacción (TR) va disminuyendo, mientras que en el bloque de transferencia los TR se elevan alcanzando los niveles iniciales. Este dato de elevación de los TR se ha interpretado como índice

del aprendizaje de la secuencia (Deroost & Soetens, 2006; Schwarb & Schumacher, 2012). Sin embargo, un dato interesante es que el efecto sobre las respuestas correctas (RC) no ha sido consistente, aunque se ha observado que en general se mantienen estables a lo largo de la tarea.

También se ha buscado explorar mediante un reporte verbal si los participantes pueden reconocer una secuencia, patrón u orden en los estímulos que observaron durante la SRTT (Kelly, Griffiths & Frith, 2002; Nissen & Bullemer, 1987). Los participantes que son capaces de verbalizar la presencia de una secuencia son denominados explícitos, mientras que los que no pueden verbalizarlo se les denomina implícitos (Reber, 1967). Como una variación para establecer la distinción explícito-implícito en una prueba de reconocimiento se presentan a los sujetos sucesiones de estímulos que pueden corresponder a la secuencia utilizada o no, y se cuantifica el número de reconocimientos correctos (Eimer et al., 1996; Ferdinand, Mecklinger & Kray, 2008; Perruchet & Amorim, 1992).

La SRTT se ha utilizado en investigaciones sobre aprendizaje implícito ya que en esta tarea no es necesario que el sujeto desarrolle un conocimiento consciente de la secuencia (Perruchet & Vinter 1998; Shanks & St. John, 1994). Además se ha reportado que aquellos participantes que pueden llegar a verbalizar la existencia de la secuencia (aprendices explícitos) obtienen mejores resultados, caracterizados por un mayor decremento en los TR a lo largo de los bloques secuenciales y una mayor sensibilidad a la desaparición de la secuencia en el bloque de transferencia (Eimer et al., 1996; Ferdinand, Mecklinger & Kray, 2008). Para estudiar esta diferencia de aprendizaje se han diseñado varios procedimientos para establecer pruebas de aprendizaje explícito que sean más independientes de la subjetividad del participante al reportar verbalmente lo aprendido. Una de las pruebas más utilizada es el *Process Dissociation Procedure* (PDP, Jacoby, 1991) para intentar separar las contribuciones de procesos conscientes e inconscientes en pruebas de memoria. El PDP fue adaptado al campo del aprendizaje secuencial por Destrebecqz y Cleeremans (2001), quienes propusieron este procedimiento como una manera en la que los participantes pudieran recolectar lo aprendido en la práctica de la SRTT y reproducirlo; el PDP se constituye por pruebas de Generación (de Inclusión y de Exclusión), teniendo como unidad básica el *chunk*, término usado para denominar los segmentos, por lo general de 3 a 4 elementos, en los que puede ser dividida una secuencia (Perruchet & Amorim, 1992) y también para designar a los segmentos de la secuencia que pueden ser reproducidos por los participantes (mínimo 3 elementos por *chunk*). En la prueba de Generación bajo la modalidad de Inclusión se solicita a los participantes que generen o reproduzcan las secuencias que ellos crean haber detectado durante la ejecución de la tarea. Si esto no es posible, se les sugiere confiar en su intuición para generar lo que ellos consideren parecido al orden usado en la SRTT. Por el contrario, en la modalidad de Exclusión se les pide que generen secuencias que sean distintas a las observadas en la prueba. El resultado general de estas pruebas es que aquellos sujetos con mayor control consciente sobre lo aprendido, generarán en la modalidad de Exclusión menos *chunks* correspondientes a la secuencia original (Destrebecqz & Cleeremans, 2001). A pesar de estos intentos evaluativos, este procedimiento no ha resultado lo eficaz que se requiere para explicar las diferencias entre ambos tipos de aprendizaje. Un punto de controversia básico es que aunque se trata de evaluar el aprendizaje explícito, las contribuciones del implícito siempre están presentes y no son claramente diferenciados; también cabe señalar que reglas para su implementación y calificación no se han operacionalizado. Otro punto débil es que el PDP obliga al participante a reportar lo que se le pide y si no está en condiciones de expresar nada relevante probablemente confabulará su informe,

como consecuencia la prueba no estaría siendo ni exhaustiva ni exclusiva del aprendizaje explícito (Timmermans & Cleeremans, 2015).

Varios experimentos que han investigado sobre aprendizaje secuencial han evaluado el incremento de la motivación del participante hacia la prueba proporcionando alguna recompensa por participar y una remuneración económica por disminuir sus tiempos de reacción, mientras que otros más han utilizado algún tipo de retroalimentación durante las pruebas con el propósito de hacer consciente al participante de su desempeño (Baldwin & Kutas, 1997; Deroost & Soetens, 2006; Eimer et al., 1996; Nissen & Bullemer, 1987). Sin embargo, en ninguno de estos estudios se ha clarificado cómo la inserción de este tipo de reforzadores secundarios podría estar afectando el desempeño de los participantes durante el aprendizaje y las pruebas correspondientes. Los efectos de la recompensa o el castigo en el aprendizaje han sido ampliamente documentados (Azrin & Holz, 1966; Burchard & Barrera, 1972; Rachlin, 1976; Weiner, 1962, 1963, 1965), sin embargo en el caso del aprendizaje secuencial ha recibido poco interés el estudio de los efectos de las consecuencias como variable motivacional. Hasta la fecha sólo hemos encontrado un estudio relacionado con el tema (Wächter, Lungu, Liu, Willingham, & Ashe, 2009), en ese trabajo los autores implementaron dos condiciones experimentales: castigo, recompensa, y un grupo control; en el primer caso se utilizó un procedimiento de costo de respuesta en el que los participantes iniciaban con US \$38 y perdían 4 centavos en cada ensayo en el que su TR fuera mayor que el criterio de TR establecido por su ejecución en bloques aleatorios previos. En el grupo recompensa los participantes comenzaban con US \$0 y ganaban 4 centavos por cada ensayo en que su TR era menor que el TR criterio. En el grupo control los participantes no recibieron dinero ni retroalimentación. En el grupo con castigo se encontró un decremento significativo en TR desde los bloques iniciales aleatorios y posteriormente no hubo un decremento sustancial, lo cual fue interpretado como un efecto piso. Reportaron que el aprendizaje ocurrió en todos los grupos pero en mayor medida en el grupo con recompensa. Existen algunos detalles metodológicos importantes en el estudio de Wächter y colaboradores que debemos resaltar. Ya que les interesaba observar únicamente el aprendizaje de procedimientos (o aprendizaje implícito) eliminaron de su muestra final a todos los sujetos que clasificaron como explícitos y, por otra parte, la retroalimentación del error era inmediata (proporcionada en cada ensayo) lo que pudo haber interferido con el aprendizaje de la secuencia.

La presente investigación parte de la hipótesis de que la motivación es una variable que incide sobre la ejecución del organismo y lo lleva a iniciar una conducta, mantenerla y utilizar las anteriormente aprendidas (Ardila, 1973); por tanto, la implementación de procedimientos de recompensa o castigo deberían modificar la ejecución de los participantes en una prueba de aprendizaje. Además, la retroalimentación aun sin estar acompañada de un reforzador primario regula el comportamiento, lo que debería influir en tareas como la SRTT ya que los organismos estarían utilizando la información proporcionada para modificar su conducta (Goetz, 2011). En tareas con gramáticas artificiales se ha constatado un efecto positivo en el reconocimiento de las reglas gramaticales cuando se utiliza retroalimentación (Mealor & Dienes, 2013).

El objetivo principal del trabajo fue evaluar los efectos de tres variables motivacionales, retroalimentación, recompensa y castigo sobre la ejecución de los participantes en una SRTT. Un interés adicional fue determinar si las proporciones de aprendices explícitos e implícitos se ven afectadas por esas variables motivacionales. Dado que el aprendizaje secuencial durante una SRTT se caracteriza como una disminución paulatina del tiempo de reacción a través de los bloques secuenciales de estímulos, aun cuando al participante no se le proporcionan reforzadores externos, se esperaba que bajo las condiciones de

retroalimentación, recompensa o castigo la disminución del TR a lo largo de la tarea fuera mayor y más consistente en comparación con la de los participantes de un grupo control. Así mismo se esperaba que la proporción de sujetos clasificados como aprendices explícitos fuera menor en el grupo control en comparación con las otras tres condiciones experimentales.

Método

Participantes

Un total de 121 participantes (57 mujeres y 64 hombres) con edad media de 18.2 años ($DT = .56$) formaron parte voluntariamente de esta investigación. Los participantes procedieron de cinco escuelas distintas y de dos turnos diferentes, fueron invitados en sus salones de clase y todos se encontraban cursando los últimos semestres de la educación media superior o el primer semestre de educación superior en la Universidad de Guadalajara. Al finalizar la sesión se les instruyó para no comentar sobre las tareas realizadas en el laboratorio, explicándoles que esa comunicación podría afectar negativamente los resultados del estudio. El proyecto fue aprobado por el Comité de Ética del Instituto de Neurociencias (Dictamen ET11 2016-221).

Instrumentos

El estudio se llevó a cabo en un cubículo individual del laboratorio, iluminado artificialmente y aislado de ruidos externos. Se emplearon una computadora de marca comercial con un teclado QWERTY y un monitor con una pantalla de 22". Los estímulos, las respuestas y los tiempos de reacción se programaron y registraron con el *software Psychopy* (v 1.80.03) para el sistema operativo *Windows* (Peirce, 2007; Peirce, Gray, & Haichenko, 2012). Con el objetivo de diferenciar a los sujetos implícitos de los explícitos se pidió a los participantes que contestaran al final de la sesión a las siguientes cinco preguntas: 1) ¿Te pareció difícil la prueba? 2) ¿Empleaste alguna estrategia para contestar más rápida y correctamente? 3) ¿Encontraste algo particularmente interesante en la prueba que acabas de contestar? 4) Conforme avanzaste en la prueba lo fuiste haciendo mejor y más rápido ¿A qué crees que se deba esto? y 5) El *software* que controla la presentación de las flechas asigna aleatoriamente una de dos condiciones, de tal manera que para algunos participantes los estímulos pueden estar siguiendo una secuencia y para otros no, ¿crees que te tocó la prueba con o sin secuencia?

Las respuestas fueron registradas por el asistente y si en alguna de las respuestas a las primeras cuatro preguntas se mencionó haber seguido u observado un orden, secuencia o patrón, el sujeto fue clasificado como explícito; de otro modo se le clasificó como implícito. La última pregunta se incluyó para evitar en lo posible que los sujetos comunicaran a sus compañeros la tarea específica que ejecutaron.

Procedimiento

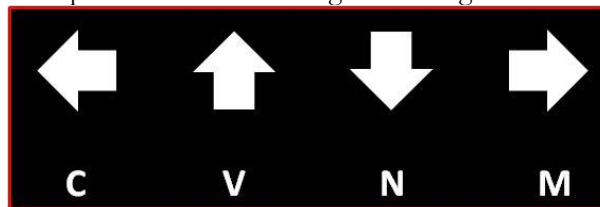
Los participantes se presentaron en el laboratorio de manera individual, sin posibilidad de comunicarse entre ellos. Después de explicar las actividades que realizarían en la sesión se les preguntó si continuaban dispuestos a participar y se les pidió que firmaran una carta de consentimiento informado. La tarea principal consistió en una SRTT formada por 6 bloques de 120 estímulos cada uno. Los primeros

cinco bloques de ensayos estuvieron formados cada uno por 10 repeticiones de una secuencia de primer orden formada por 12 estímulos, el sexto bloque de ensayos fue aleatorio y la única regla para todos los bloques fue no repetir el mismo estímulo en dos ensayos consecutivos. Se siguieron los criterios de Reed y Johnson (1994) para controlar la dificultad. La secuencia fue A – B – D – A – D – B – C – D – A – C – B – C, en la que cada una de las cuatro letras representa un estímulo diferente, la secuencia utilizada fue siempre la misma. Los estímulos en color blanco aparecían en la pantalla con fondo negro situada a 60 cm enfrente del participante. Un punto de fijación (+) estuvo presente en el centro de la pantalla durante toda la sesión. Los estímulos fueron cuatro flechas, cada una apuntando en distinta dirección; a la flecha que apuntaba a la izquierda se le denominó A, a la que apuntaba arriba B, a la que apuntaba abajo C y a la que apuntaba a la derecha D. Las flechas aparecían una a una centradas en el monitor durante 300 ms y después de un intervalo de 800 ms comenzaba el siguiente ensayo. El inicio de cada uno de los bloques secuenciales fue una flecha diferente dentro de la secuencia. Las teclas de respuesta correspondientes a cada uno de los estímulos fueron C, V, N y M. En ese orden cada tecla fue utilizada por los participantes para responder a la aparición de los estímulos A, B, C, y D, respectivamente. La inclusión del bloque aleatorio al final de la tarea tuvo el propósito de evaluar el efecto del aprendizaje de la secuencia al permitir calcular la diferencia entre los TR del último bloque secuencial y los del bloque aleatorio, definiendo así un Índice de Aprendizaje Secuencial (ÍAS) de acuerdo con lo propuesto por Schwarb y Schumacher (2012).

Cada participante se trasladó al lugar de registro donde tomó asiento frente a una computadora y procedió a leer las instrucciones de la SRTT. Las instrucciones que todos leyeron incluyendo una imagen ilustrativa antes de responder a la tarea fueron las siguientes:

Para contestar la tarea que te será presentada es importante pongas mucha atención en las siguientes instrucciones, es primordial que prestes mucha atención durante el transcurso de toda la tarea y pongas empeño en contestar correctamente.

En la pantalla observarás una pequeña cruz roja al centro, esta cruz estará presente durante toda la tarea y encima de ella aparecerá una flecha blanca, ésta se puede posicionar sólo en el centro, pero puede tener cuatro diferentes orientaciones: izquierda, arriba, abajo o derecha, tal como se puede observar en la siguiente imagen.



La forma en la que responderás a la aparición de la flecha en alguna de las cuatro direcciones posibles será presionando una de cuatro teclas, estas son: C, V, N o M, que se encuentran en la parte inferior del teclado por encima de la barra espaciadora. Cuando la flecha apunte hacia la izquierda presionarás C, cuando apunte hacia arriba V, cuando apunte hacia abajo N y cuando apunte hacia la derecha M.

Deberás responder lo más rápido posible e intentar cometer los mínimos errores, si en alguno te equivocas no te preocupes ni intentes corregirlo, simplemente sigue contestando.

Los participantes fueron asignados aleatoriamente a uno de los cuatro grupos (Recompensa, Castigo, Retroalimentación y Control). Con excepción de los participantes del grupo Control todos los demás recibieron información adicional escrita explicando los pormenores de la condición en la que se

encontraban. Los participantes de los cuatro grupos ejecutaron la misma SRTT en el mismo orden. Entre cada bloque se presentó una leyenda con la instrucción de presionar la tecla “S” cuando estuviesen listos para continuar con el bloque siguiente. En la condición de retroalimentación los participantes recibieron información sobre su desempeño, al finalizar el primer bloque se les mostró el porcentaje de respuestas correctas que generaron y al final de todos los demás bloques se les indicó, además, si fueron más rápidos o más lentos que en el bloque anterior; este dato se obtuvo al comparar el TR promedio del bloque anterior con el TR del bloque que acababan de completar. En la condición de Recompensa los participantes recibieron, además de los datos mencionados, el aviso de haber ganado 2 puntos si redujeron su TR con respecto al bloque anterior y lograron 83% o más de aciertos. Los puntos se otorgaron a partir del bloque 2 y los participantes en ese grupo podían llegar al final de la tarea con un máximo de 10 puntos y un mínimo de 0. En la condición de Castigo se implementó el procedimiento de costo de respuesta (Weiner, 1962, 1963, 1965); además de la retroalimentación los participantes recibieron el aviso de haber perdido 2 puntos si no disminuyeron el TR de ese bloque con respecto al del bloque anterior o si emitieron menos de 83% de respuestas correctas. Los participantes bajo esta condición comenzaron la prueba con un total de 10 puntos pudiendo llegar al final hasta un mínimo de 0. A los participantes en las condiciones de recompensa y castigo se les remuneró económicamente de la siguiente forma: por participar en la prueba ganaron MX \$50.00 y por cada 2 puntos acumulados al final de la tarea se les dieron otros MX \$15.00. La cantidad máxima que podían ganar fue MX \$125.00. Al finalizar la SRTT en las condiciones de Recompensa y Castigo se informó a los participantes el total de sus ganancias. En el grupo Control los participantes realizaron la misma tarea sin recibir retroalimentación o algún tipo de consecuencia por su desempeño. En ningún momento los participantes fueron informados de la presencia de una secuencia guiando la aparición de los estímulos.

Al completar todos los bloques de la SRTT a todos los participantes se les pidió que respondieran por escrito a las cinco preguntas elaboradas para clasificar a los sujetos como implícitos o explícitos. Después de responder a estas preguntas los participantes completaron dos tareas de generación de secuencias en las modalidades de inclusión y exclusión (Destrebecqz & Cleeremans, 2001). En estas tareas el sujeto debió oprimir las teclas C, V, N ó M para generar la aparición de 71 estímulos. El programa presentó la primera flecha y en la prueba de inclusión se pidió al participante reproducir lo que había observado en la SRTT, mientras que en la prueba de exclusión se le pidió evitar reproducir lo que había observado en la SRTT. En el conjunto de 72 estímulos resultantes de cada una de las tareas se buscaron *chunks* (trozos) de al menos tres elementos que formaran parte de la secuencia presentada en la SRTT (el *chunk* más largo estuvo formado por los 12 elementos de la secuencia) y se registraron en cada sujeto el número de *chunks* y la longitud del *chunk* más largo.

Resultados

Para cada participante se obtuvieron en cada bloque la Mediana del Tiempo de Reacción de las respuestas correctas (TR) y el porcentaje de Respuestas Correctas (RC). En los análisis estadísticos se excluyó el bloque de transferencia (bloque 6, aleatorio). Los TR y las RC se sometieron a un ANOVA mixto 4 x 5, con un factor entre grupos (Condiciones, con cuatro niveles) y un factor de medidas repetidas (Bloques, con 5 niveles). Cuando no se cumplió con el supuesto de esfericidad se usó la corrección de Greenhouse-Geisser (Field, 2013) y se reportaron los grados de libertad originales.

Entre los Bloques de la tarea encontramos diferencias significativas en el Tiempo de Reacción ($F(4,468) = 45.27, p < 0.001, \eta^2 = 0.28$). Contrastes simples (Field, 2013) mostraron diferencias significativas entre el bloque 5 y cada uno de los bloques 1 a 4 ($p < 0.05$). Se encontró una diferencia marginal entre las Condiciones ($F(3,117) = 2.32, p = 0.08, \eta^2 = 0.06$) y los contrastes simples indicaron una diferencia significativa ($p < .01$) entre el grupo Recompensa y el grupo Control, la Figura 1 muestra estos efectos en el TR. En las respuestas correctas realizamos los mismos análisis y encontramos diferencias en el factor Bloque ($F(4,468) = 3.67, p < 0.01, \eta^2 = 0.03$) (Fig. 2). El análisis de contrastes simples mostró diferencias significativas entre el bloque 1 y los siguientes bloques secuenciales ($p < 0.05$). En el factor condición no se encontraron diferencias significativas ($F(3,117) = .84, p = 0.5, \eta^2 = 0.02$). Para analizar el ÍAS (diferencia en TR entre el último bloque secuencial y el bloque aleatorio final) se realizó un ANOVA de un factor para grupos independientes (Condiciones) que no detectó diferencias significativas entre las condiciones ($F(3,117) = .046, p < 0.987$). Para comparar la ganancia económica promedio obtenida por los grupos que podían acceder a un reforzador aplicamos una prueba *t de Student* para grupos independientes y encontramos que el grupo Castigo obtuvo mayores ganancias ($M = 90.50, SE = 3.46$) que el grupo Recompensa ($M = 69.50, SE = 3.38$); esta diferencia fue significativa ($t(58) = 4.39, p = .001, d = 1.13$).

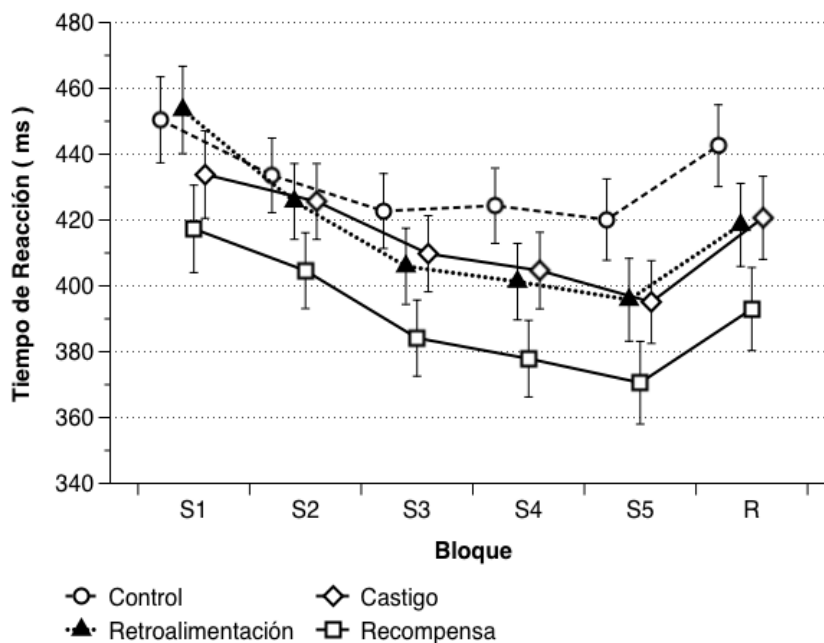


Figura 1. Tiempos de reacción ($M \pm SEM$) obtenidos por los participantes en las cuatro condiciones en cada uno de los bloques secuenciales (S1 – S5) y aleatorio (R) de la tarea (Control $n = 31$, Retroalimentación $n = 30$, Castigo $n = 30$ y Recompensa $n = 30$).

Con base en el reporte verbal obtenido con el cuestionario, se clasificó a los sujetos como implícitos o explícitos (Figs. 3 y 4). Las frecuencias y proporciones de ambos tipos de sujetos en los tres grupos experimentales y grupo control se muestra en la Tabla 1. Un ANOVA 2×5 con un factor entre sujetos (Implícito, Explícito) y un factor de medidas repetidas (Bloque) no arrojó diferencias significativas en Tiempo de Reacción ($F(1,119) = 2.437, p < 0.121, \eta^2 = 0.020$) ni en Respuestas Correctas ($F(1,119) = 2.513, p < 0.116, \eta^2 = 0.021$) entre ambos tipos de sujetos. Al comparar los valores del Índice de Aprendizaje entre

ambos grupos de sujetos se encontró una diferencia limítrofe ($t(119) = -1.854, p = 0.066, d = .38$), aunque el grupo de Explícitos mostró un incremento de TR mayor ($M = 31.66, SE = 6.53$) que el grupo de Implícitos ($M = 18.33, SE = 3.96$).

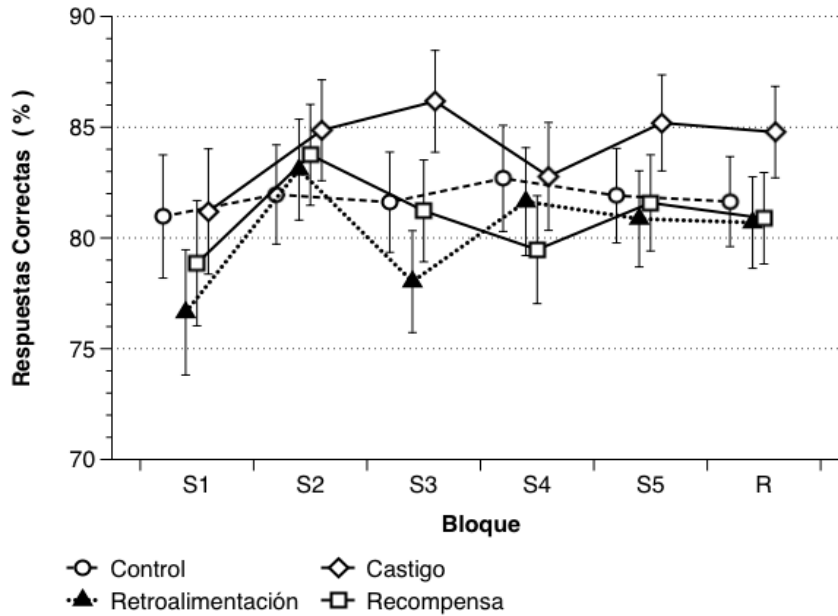


Figura 2. Porcentajes de respuestas correctas ($M \pm SEM$) obtenidos por los participantes en las cuatro condiciones en cada uno de los bloques de la tarea.

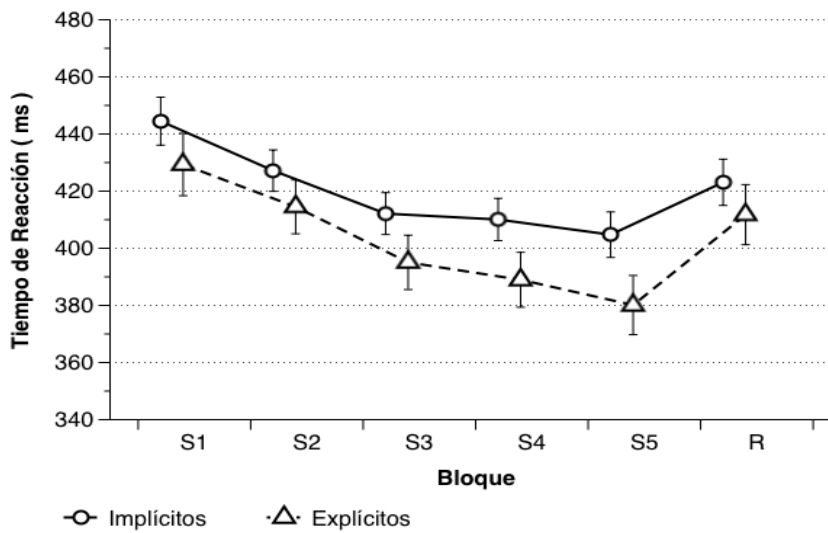


Figura 3. Tiempos de reacción ($M \pm SEM$) en la SRIT de los participantes clasificados como Implícitos ($n = 76$) o Explícitos ($n = 45$).

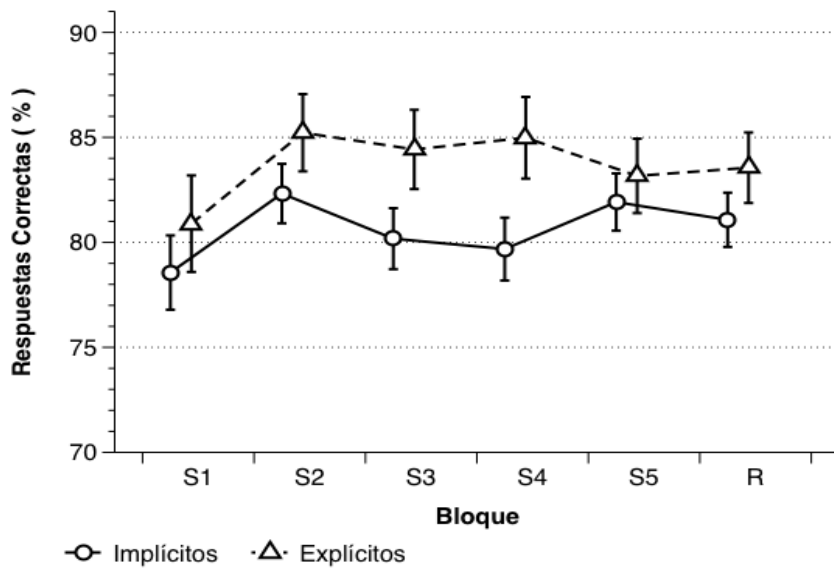


Figura 4. Respuestas Correctas (M ± SEM) en la SRTT de los participantes clasificados como Implicitos (n = 76) o Explicitos (n = 45).

CONDICIÓN	CLASIFICACIÓN		Total
	Explicitos	Implicitos	
Recompensa	15 (.50)	15 (.50)	30
Castigo	5 (.17)	25 (.83)	30
Retroalimentación	14 (.47)	16 (.53)	30
Control	11 (.35)	20 (.65)	31
Total	45 (.37)	76 (.63)	121

Tabla 1. Frecuencias y (proporciones) de sujetos Explicitos e Implicitos en los tres grupos experimentales y en el control.

		Control	Retroalimentación	Castigo	Recompensa	Total
Prueba de Generación con Inclusión	Cantidad	\bar{X} 5.80 DT 1.54	\bar{X} 5.87 DT 2.03	\bar{X} 5.89 DT 2.04	\bar{X} 6.17 DT 2.50	\bar{X} 5.93 DT 2.03
	Longitud	\bar{X} 5.87 DT 1.10	\bar{X} 5.87 DT 1.19	\bar{X} 5.86 DT 1.17	\bar{X} 6.14 DT 1.66	\bar{X} 5.93 DT 1.29
Prueba de Generación con Exclusión	Cantidad	\bar{X} 6.35 DT 2.20	\bar{X} 5.17 DT 2.26	\bar{X} 6.14 DT 2.77	\bar{X} 6.07 DT 3.36	\bar{X} 5.93 DT 2.68
	Longitud	\bar{X} 5.81 DT 1.54	\bar{X} 4.50 DT 1.78	\bar{X} 5.59 DT 1.09	\bar{X} 5.31 DT 0.97	\bar{X} 5.30 DT 1.46

Tabla 2. Promedio y desviación típica de la cantidad de chunks y de la longitud del chunk más grande en las cuatro condiciones.

Con los datos de las pruebas de generación posteriores a la SRTT se obtuvieron la cantidad de *chunks* generados y la longitud del *chunk* más grande. El ANOVA con un factor (Condición) indicó diferencias significativas únicamente para la longitud del *chunk* en Exclusión ($F(3,118) = 5.109, p < 0.01$). Las pruebas por pares señalan que los participantes en el grupo de Retroalimentación generan *chunks* más pequeños comparados con los grupos Control y Castigo ($p < .05$). La Tabla 2 muestra los datos obtenidos

para las condiciones. Al comparar entre los sujetos implícitos y explícitos la cantidad de *chunks* en la prueba de generación con Inclusión ($t(115) = -2.395, p = .018, \eta^2 = .048$), el grupo de implícitos generó una menor cantidad de *chunks* ($M = 5.59, SE = .205$) que el grupo de explícitos ($M = 6.50, SE = .352$). Realizando el mismo análisis con la prueba de Exclusión no encontramos diferencias entre las medias de los dos grupos ($t(115) = -.423, p = .673, \eta^2 = .002$). La longitud de los *chunks* generados tanto en Inclusión ($t(115) = -1.036, p = .281, \eta^2 = .009$) como en Exclusión ($t(115) = .337, p = .736, \eta^2 = .001$) no fue significativamente diferente entre los grupos de aprendices explícitos e implícitos.

Discusión

El objetivo principal del trabajo fue evaluar los efectos de tres variables motivacionales: retroalimentación, recompensa y castigo sobre la ejecución (TR y RC) de los participantes en una SRTT. Además, nos interesaba determinar si las proporciones de aprendices explícitos e implícitos serían afectadas por esas variables motivacionales. En primer lugar, como se esperaba fue posible replicar los efectos típicos de una SRTT. Los datos de este estudio muestran congruencia con los reportes que han empleado este tipo de tarea; es decir, hubo un decremento consistente del TR en los bloques secuenciales y un incremento en el bloque aleatorio en los grupos recompensa, castigo, retroalimentación y grupo control. En segundo lugar, las RC fueron mayores en los últimos bloques secuenciales para todos los grupos. Por último, las proporciones de aprendices implícitos y explícitos fueron sensibles a las variables motivacionales.

Partiendo del supuesto de que la motivación incide activamente en la conducta de los organismos, y en la intensidad de su desempeño, y que esta variable influye en la organización del comportamiento guiándolo hacia el cumplimiento de una meta (Hernández, 2001), pudimos recabar información relevante acerca de cómo los sujetos actúan en una tarea SRTT bajo las condiciones de retroalimentación, castigo o recompensa. Esperábamos claras diferencias entre la ejecución de los grupos experimentales, especialmente con respecto al grupo Control que no recibió ninguna consecuencia por su desempeño. Con el antecedente del trabajo de Wächter et al., (2009), identificamos discrepancias entre sus resultados y los presentes; en nuestro trabajo la disminución del TR en el grupo Recompensa fue mayor que en el Control y en el bloque de transferencia el grupo bajo la condición de Recompensa no mostró un mayor aumento del TR relacionado con el aprendizaje de la secuencia, por lo que podríamos decir que ese tratamiento tuvo un efecto en la disminución de los TR el cual no está ligado únicamente al aprendizaje secuencial. Una probable causa de estas diferencias entre ambos resultados sería el hecho de que en esta investigación no utilizamos una retroalimentación inmediata sino demorada; el participante debía esperar hasta el final del bloque para conocer el resultado de su ejecución. Esta decisión fue tomada suponiendo que la retroalimentación inmediata podría interferir con el aprendizaje de la secuencia. Mientras que Wächter et al., (2009) no reportan datos al respecto de las ganancias acumuladas, nosotros encontramos una diferencia significativa en las ganancias entre el grupo Castigo y el grupo Recompensa, este dato no había sido reportado previamente.

Hasta donde sabemos el estudio de Wächter et al. (2009) es el único en el que se ha manipulado la variable motivacional en las modalidades de recompensa (dinero) y castigo (costo de respuesta). Con esa base efectivamente esperábamos replicar sus resultados, al menos parcialmente. Por un lado, a partir del segundo bloque en los tres grupos experimentales los TR fueron consistentemente menores en comparación con los del grupo Control. En los datos del presente estudio encontramos un efecto de la Recompensa

sobre los TR, ya que en este grupo se obtuvieron los puntajes más bajos; sin embargo, este efecto no puede atribuirse únicamente al aprendizaje de la secuencia ya que el ÍAS entre todas las condiciones experimentales no mostró diferencias significativas. Por otro lado, hubo un mayor número de RC en el grupo Castigo, aunque las diferencias no fueron significativas entre las condiciones. Este dato puede estar relacionado con las características del procedimiento del Costo de Respuesta al que fueron expuestos los participantes en ese grupo. Uno de los requisitos para no perder los puntos otorgados al inicio de la tarea era mantener 83% o más de RC en cada uno de los bloques; una hipótesis acerca de la diferencia con los resultados del grupo recompensa sería que el Costo de Respuesta influyó en los participantes de manera que priorizaron responder correctamente sobre hacerlo rápidamente.

En concordancia con los resultados de Wächter y colaboradores (2009) se encontró un efecto que no se debe a la práctica o al aprendizaje: los TR en el primer bloque bajo las condiciones de Recompensa y Castigo fueron menores que los TR de las condiciones Retroalimentación y Control sin que estas diferencias alcanzaran a ser significativas. Ya que en las condiciones de Recompensa y Castigo se utilizó como reforzador secundario el dinero se consideró pertinente comparar las ganancias de estos grupos y se encontró que fue el grupo bajo la condición de Castigo el que obtuvo una mayor ganancia. Aunque el grupo en la condición de Recompensa mostró los menores TR, los participantes de este grupo tuvieron mayor dificultad para cumplir las dos condiciones: ser más rápidos que en el bloque inmediato anterior y mantener un 83% de respuestas correctas. El incremento de respuestas correctas en los bloques dos a cinco con respecto al primer bloque podría explicarse por la forma en que se presentaron los estímulos (i.e., siempre en la misma ubicación). Duncan (1978) ha sugerido que este modo de presentación de los estímulos requiere de una transformación espacial y genera un mayor aprendizaje comparado con una presentación en la que los estímulos aparecen en diferentes ubicaciones (Berriell, 2015). De hecho, al inicio de la tarea la mayoría de participantes declaró tener dificultades para responder a los estímulos “flecha arriba” y “flecha abajo” (teclas de respuesta V y N), pero con el paso de los ensayos fallaron cada vez menos en la ejecución de las respuestas, revelando la influencia del componente espacial que requiere la ejecución de la tarea.

Como un dato frecuente en los estudios sobre aprendizaje secuencial se ha encontrado que las proporciones de sujetos que pueden clasificarse como aprendices implícitos o explícitos se acercan a 0.5 (Eimer et al., 1996; Ferdinand, Mecklinger & Kray, 2008). En nuestro estudio esa proporción sólo apareció en los grupos Recompensa y Retroalimentación, mientras que en el grupo Castigo la proporción de participantes explícitos fue de sólo 0.17, menor incluso que en el grupo Control (.35); adicionalmente en el grupo Castigo se encontraron los *chunks* más largos en la prueba de generación de Exclusión. Ambos datos sugerirían que en la condición de Castigo el aprendizaje explícito de la secuencia fue menos frecuente (Destrebecqz & Cleeremans, 2001; Schlaghecken, Stürmer & Eimer, 2000) y en un contexto punitivo podrían ser indicios de un efecto negativo del Costo de Respuesta sobre el reconocimiento y la verbalización de la secuencia. En general, para los sujetos explícitos se registraron menores TR, una mayor cantidad de RC y una mayor cantidad de *chunks* en la prueba de Generación con Inclusión. Estos resultados demuestran una mejor ejecución en la SRTT comparada con el desempeño de los participantes implícitos. Esta diferencia podría atribuirse a que los aprendices explícitos mostraron una mayor dependencia de la secuencia que los implícitos, como lo sugiere la diferencia en el ÍAS entre ambos tipos de participantes, en la que los implícitos tuvieron un menor incremento del TR al llegar al bloque aleatorio o de transferencia, aunque la significación de esta diferencia fue limítrofe. Los resultados también demostraron que el grupo Recompensa tuvo los TR más bajos, este dato contrasta con la mayor cantidad de RC en el grupo Castigo y con el hecho de que fue

en este último grupo en el que los participantes acumularon mayores ganancias. Sin embargo, cuando consideramos la verbalización de la secuencia fue el grupo Castigo en el que se observó una mayor proporción de sujetos implícitos, incapaces de verbalizar la existencia del patrón.

Sobre el aprendizaje de la secuencia podríamos resumir que bajo las tres condiciones motivacionales (retroalimentación, castigo o recompensa) se registró la típica disminución del TR durante los bloques secuenciales con valores por debajo de los del grupo Control. Por otra parte, en el otro parámetro del aprendizaje de la secuencia, el incremento de los TR en el bloque aleatorio final fue similar en las tres condiciones experimentales y en el grupo Control. Esta discrepancia entre ambos parámetros abre la posibilidad de realizar un análisis más fino del curso de los TR a lo largo de los ensayos del bloque de transferencia para identificar diferencias más sutiles entre las tres variables motivacionales y el grupo Control. Ahora bien, el dinero como reforzador secundario ha mostrado su potencia en procedimientos como el costo de respuesta (Baron, Kaufman & Stauber, 1969; Weiner, 1962) y la recompensa (Delgado, Labouliere & Phelps, 2006; Lam, Wächter, Globas, & Karnath, 2013). De manera similar se ha reportado que la sola retroalimentación genera efectos positivos en el aprendizaje (Mealor & Dienes, 2013; Tamayo, 2003). Por estos motivos, esperábamos un efecto de estas variables motivacionales sobre el aprendizaje de la secuencia de la SRTT. La Recompensa generó menores TR que la Retroalimentación y el Castigo, pero el Castigo limitó la cantidad de aprendizaje explícito, reflejada en la baja proporción de participantes explícitos y este hallazgo sugeriría que el contexto punitivo interfirió con la habilidad de los sujetos para verbalizar lo aprendido.

Sería de interés evaluar si el suministro de retroalimentación continua (cada ensayo) o intermitente tendría algún efecto sobre el aprendizaje de la secuencia, diferente del que aquí reportamos utilizando una retroalimentación demorada. En un estudio de variabilidad y estereotipia con una tarea de discriminación condicional en humanos se encontró que con la retroalimentación demorada los sujetos no fueron capaces de responder al criterio de variabilidad, a diferencia de lo que sucedía cuando se les proporcionaba retroalimentación continua o intermitente (Pérez, Martínez & Zepeda, 2016). De manera similar en estudios con Gramáticas Artificiales se ha encontrado que la retroalimentación inmediata tiene efectos positivos en el aprendizaje y que cuando ésta es demorada los efectos no llegan a ser tan claros (Mealor & Dienes, 2013; Tamayo, 2003). En un estudio de aprendizaje probabilístico donde los investigadores usaron el mismo sistema de puntos con equivalencia a dinero y retroalimentación demorada no pudo observarse un efecto favorable de la recompensa sobre el aprendizaje (Rogers, Friedman & Vickery, 2016), por lo tanto, consideramos la posibilidad de que el procedimiento empleado para la acumulación de recompensa, es decir, el hecho de que los participantes hayan visto puntos sólo al final de cada bloque en vez de dinero probablemente haya influido para disminuir el valor motivacional de la recompensa. En conclusión, una extensión de esta línea de investigación incluiría evaluar los efectos del aumento de la motivación generada por la recompensa (*i.g.*, incrementando la cantidad de dinero a obtener), variaciones en la modalidad y densidad de la retroalimentación y para la condición de Castigo un aumento en el costo de respuesta para producir diferencias sustanciales en el aprendizaje y por lo tanto en el Índice de Aprendizaje Secuencial (ÍAS).

Referencias

- Ardila, R. (1973). *Psicología del aprendizaje*. Madrid: Siglo veintiuno.
- Azrin, N., & Holz, W. (1966). Punishment. En W. Honig (Ed.), *Operant behavior: Areas of research and application* (pp. 380-447). New York: Appleton Century Crofts.
- Baldwin, K., & Kutas, M. (1997). An ERP analysis of implicit structured sequence learning. *Psychophysiology*, *34*, 74-86.
- Baron, A., Kaufman, A., Stauber, K. (1969). Effects of instructions and reinforcement feedback on human operant behaviour maintained by fixed-interval reinforcement. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, *12*(5), 701-712.
- Berriel, P. (2015). Influencia del modo de presentación de los estímulos y de la longitud de la secuencia en el aprendizaje de patrones. (Tesis de Maestría). Universidad de Guadalajara, México. <http://biblioteca.cucba.udg.mx:8080/xmlui/handle/123456789/5898>
- Boyer, M., Destrebecqz, A., & Cleeremans, A. (1998). The serial reaction time task: Learning without knowing, or knowing without learning? *Proceedings of the 20th Annual Conference of the Cognitive Science Society*, 167-172.
- Burchard, J., & Barrera, F. (1972). An analysis of timeout and response cost in a programmed environment. *Journal of applied behavior analysis*, *5*, 271-282.
- Delgado, M., Labouliere, C., & Phelps, E. (2006). Fear of losing money? Aversive conditioning with secondary reinforcers. *Social Cognitive and Affective Neuroscience*, *1*(3), 250-259. <https://doi.org/10.1093/scan/nsl025>
- Deroost, N., & Soetens, E. (2006). Short article. The role of response selection in sequence learning. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, *59*(3), 449-456.
- Destrebecqz, A., & Cleeremans, A. (2001). Can sequence learning be implicit? New evidence with the process dissociation procedure. *Psychonomic Bulletin & Review*, *8*(2), 343-350.
- Duncan, J. (1978). Response selection in spatial choice reaction: Further evidence against associative models. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, *30*, 429-440.
- Eimer, M., Goshchke, T., Schlaghecken, F., & Stürner, B. (1996). Explicit and implicit learning of event sequences: Evidence from event-related brain potentials. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition*, *22*(4), 970-987.
- Ferdinand, N., Mecklinger, A., & Kray, J. (2008). Error and deviance processing in implicit and explicit sequence learning. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *20*(4), 629-642.
- Field, A. (2013). *Discovering Statistics Using SPSS* (4th ed.). London: Sage.

- Goetz, T. (19 de junio de 2011). Hasnassing the power of feedback loops. *WTRED*. Recuperado de https://www.wired.com/2011/06/ff_feedbackloop/
- Hernández, M. (2001). Transición de la motivación a la acción: bases neurales. In L. Rojas (Ed.), *Texto de Neurociencias Cognitivas* (pp. 51-79). México, D.F.: Manual Moderno.
- Jacoby, L. L. (1991). A process dissociation framework: Separating automatic from intentional uses of memory. *Journal of Memory & Language*, 30, 513-541.
- Jiménez, L., Méndez, C., & Cleeremans, A. (1996). Comparing direct and indirect measures of sequence learning. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 22(4), 948-969. <https://doi.org/10.1037/0278-7393.22.4.948>
- Keele, S., Jennings, P., Jones, S., Caulton, D., & Cohen, A. (1995). On the Modularity of Sequence Representation. *Journal of Motor Behavior*, 27(1), 17-30.
- Kelly, S., Burton, A., Riedel, B., & Lynch, E. (2003). Sequence learning by action and observation: Evidence for separate mechanisms. *British Journal of Psychology*, 94, 355-372.
- Kelly, S., Griffiths, S., & Frith, U. (2002). Evidence for implicit sequence learning in dyslexia. *Dyslexia*, 8, 43-52.
- Lam, J., Wächter, T., Globas, C., & Karnath, H. (2013). Predictive Value and Reward in Implicit Classification Learning. *Human Brain Mapping*, 34, 176-185.
- Mealor, A., & Dienes, Z. (2013). Explicit feedback maintains implicit knowledge. *Consciousness and Cognition*, 22(3), 822-832.
- Nissen, M., & Bullemer, P. (1987). Attentional requirements of learning: Evidence from performance measures. *Cognitive Psychology*, 19, 1-32.
- Peirce, J. (2007). Psychopy-Psychophysics software in Python. *Journal of Neuroscience Methods*, 162(1-2), 8-13.
- Peirce, J., Gray, J., & Haichenko, Y. (2012). Psychopy (Version 1.8.03).
- Pérez, S., Martínez, H., & Zepeda, I. (2016). La densidad de la retroalimentación como modulador de la variabilidad y esterotipia conductual en tareas de discriminación condicional en niños y jóvenes. *Conductual*, 4(3), 175-195.
- Perruchet, P., & Amorim, M. (1992). Conscious knowledge and changes in performance in sequence learning: Evidence against dissociation. *Journal of experimental psychology: Learning, memory and cognition*, 18(4), 785-800.
- Perruchet, P., & Vinter, A. (1998). "Learning and development: The implicit knowledge assumption reconsidered." En M. A. Stadler y P. A. Frensch (Eds.), *Handbook of Implicit Learning* (pp. 495-531). Thousand Oaks, CA: Sage Publications.

- Rachlin, H. (1976). *Behavior and Learning*. New York: W.H. Freeman.
- Reber, A. (1967). Implicit learning of artificial grammars. *Journal of verbal learning and verbal behavior*, 6, 855-863.
- Rogers, L., Friedman, K., & Vickery, T. (2016). No Apparent Influence of Reward upon Visual Statistical Learning. *Frontiers in Psychology*, 7, 1687.
- Schlaghecken, F., Stürmer, B., & Eimer, M. (2000). Chunking processes in the learning of event sequences: electrophysiological indicators. *Memory & Cognition*, 28(5), 821-831. <https://doi.org/10.3758/BF03198417>
- Schwarb, H., & Schumacher, E. (2012). Generalized lessons about sequence learning from the study of the serial reaction time task. *Advances in Cognitive Psychology*, 8(2), 165-178.
- Shanks, D., & St. John, M. (1994). Characteristics of dissociable human learning systems. *Behavioral and Brain Sciences*, 17, 367-447.
- Stadler, M. (1992). Statistical Structure and Implicit Serial Learning, 18(2), 318-327.
- Stadler, M., & Frensch, P. (1998). (Eds.). *Handbook of implicit learning*. Thousand Oaks, CA: Sage.
- Tamayo, R. (2003). Efectos del reforzamiento sobre el aprendizaje de secuencias generadas por una gramática artificial de estado finito. *Suma Psicológica*, 10(2), 211-222.
- Timmermans, B., & Cleeremans, A. (2015). How can we measure awareness? En Overgaard, M. (Ed.), *Behavioral Methods in Consciousness Research* (págs. 21-48). New York: Oxford University Press.
- Wächter, T., Lungu, O., Liu, T., Willingham, D., & Ashe, J. (2009). Differential effects of reward and punishment on procedural learning. *The Journal of Neuroscience*, 29(2), 436-443.
- Weiner, H. (1962). Some effects of response cost upon human operant behavior. *Journal of experimental analysis of behavior*, 5(2), 201-208.
- Weiner, H. (1963). Response cost and the aversive control of human operant behavior. *Journal of experimental analysis of behavior*, 6(3), 415-421.
- Weiner, H. (1965). Real and imagined cost effects upon human fixed-interval responding. *Psychological Reports* (17), 659-662.
- Willingham, D., Bullemer, P., & Nissen, M. (1989). On the development of procedural knowledge. *Journal of experimental psychology: Learning, memory and cognition*, 15(6), 1047-1060.