

# **D**esarrollo de una Tarea Computarizada de Categorización a partir de Reglas para la Monitorización Conductual y Neurofisiológica del Error

**Erwin R. Villuendas González**

Facultad de Psicología, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Michoacán, México. Laboratorio de Neurofisiología Clínica, Instituto de Neurociencias, Universidad de Guadalajara. Jalisco, México.

**Andrés A. González Garrido**

Laboratorio de Neurofisiología Clínica, Instituto de Neurociencias, Universidad de Guadalajara. Antiguo Hospital Civil de Guadalajara "Fray Antonio Alcalde". Jalisco, México.

**Correspondencia:** Erwin Rogelio Villuendas González. Laboratorio de Neurofisiología Clínica. Instituto de Neurociencias. Universidad de Guadalajara. Francisco de Quevedo 180, Col. Arcos Vallarta. Guadalajara, Jal. MÉXICO. C.P. 44130. Correo electrónico: [erwinvilluendas@gmail.com](mailto:erwinvilluendas@gmail.com)

## **Resumen**

Toda actividad orientada a un fin involucra un sistema de monitorización del desempeño que puede ser interpretado como un conjunto de mecanismos para la detección del error y regulación de la conducta que suelen resultar afectados en una amplia gama de patologías que involucran al sistema nervioso central. El curso temporal del error ha sido estudiado con técnicas tales como los potenciales relacionados con eventos (PREs), utilizando principalmente tareas cuya demanda cognitiva favorece la producción de errores que dependen menos de la planeación de la respuesta que de la ejecución per se. Es por ello que el presente trabajo tuvo como objetivo desarrollar una tarea en la que la respuesta fuera construida por el sujeto, determinando que la comisión de errores radicara más en la planeación que en la ejecución. Se desarrolló una tarea computarizada de formación de categorías a partir de reglas para utilizarla en dos experimentos, con muestras de 15 y 50 adultos jóvenes sanos, respectivamente. El patrón resultante de la ejecución de la tarea (tiempos de respuesta y precisión al responder) fue compatible con el de una tarea de alta demanda discriminativa. Se observó un efecto de aprendizaje que predominó sobre la fatiga esperada y a pesar de ser una tarea breve, el número de ejecuciones erróneas correspondió a una cantidad suficiente de ensayos como para poder ser utilizada en el futuro como base de estudio de otras variables psicofisiológicas como los propios PREs.

*Palabras clave:* Monitorización del error, categorización a partir de reglas, adultos sanos.

## **Development of a Computerized Rule-based Categorization Task for Behavioral and Neurophysiological Evaluation of Error**

### **Summary**

Goal-oriented activity involves a performance monitoring system that can be interpreted as a set of mechanisms for error detection and behavior regulation, often affected in a wide range of diseases involving the central nervous system. The time course of error has been studied with techniques such as event-related potentials (ERPs) using primarily tasks with cognitive demands which favors the production of errors that are less dependent on the response planning than execution per se. Henceforth, our aim was to develop a task in which response would be constructed by the subject, determining more commission errors while planning, than those associated with performance. We developed a computerized rule-based categorization task to be used in two experiments, using two samples of 15 and 50 healthy young adults, respectively. The resulting pattern of task performance (response time and responding accuracy) was compatible with a high demand discriminative task. There was a learning effect that predominated over the expected fatigue. In spite being a short task, the number of trials with erroneous responses is enough to be used in the future as a basis for studying other psychophysiological variables such as error-related ERPs.

*Key words:* Error monitoring, rule-based categorization, healthy adults.

### **Introducción**

Uno de los síntomas más frecuentes en pacientes que sufren una lesión cerebral es la dificultad para corregir los errores que cometen en las tareas experimentales o en la vida cotidiana (i. e., Ullsperger, 2006). Dicha incapacidad para detectar errores en el desempeño puede afectar de manera sensible la capacidad de estos pacientes para regular su conducta. Este síntoma aparece en el contexto de cuadros clínicos que involucran alteraciones en el lenguaje, percepción, memoria, etc. y ha sido también relacionado con dificultades en los procesos atencionales.

La monitorización del error (ME) forma parte de un conjunto de procesos cognitivos orientados a la auto-regulación. Ésta, a su vez, es considerada como el control a nivel superior (ejecutivo) de procesos de nivel inferior y es responsable de la planeación y ejecución del comportamiento (i.e., Banfield, Wyland, Macrae, Münte, & Heatherton, 2007; Heatherton & Wagner, 2011). Por su parte, la auto-monitorización comprende la evaluación en tiempo real del desempeño durante tareas particulares y la capacidad para identificar los errores cometidos (Ownsworth, Quinn, Fleming, Kendall, & Shum, 2010). Si bien aún no hay consenso sobre la naturaleza de los mecanismos que subyacen a la monitorización, se plantea que éstos involucran a dos sistemas que son funcional y anatómicamente dissociables: uno que monitoriza el conflicto entre respuestas y otro que detecta las acciones erróneas (Ullsperger & von Cramon, 2001).

El análisis de los errores que se cometen en una tarea ha sido en los últimos años un tema recurrente en la neurociencia cognitiva (Taylor, Stern, & Gehring, 2007). Además, se han realizado estudios con

otras especies que muestran que una parte importante de estas habilidades no son exclusivamente humanas (i.e., Zeman, 2006).

Ejemplo de los primeros estudios de la ME son los experimentos llevados a cabo por Rabbitt y su equipo desde la década de los 60s (i. e., Rabbitt & Rodgers, 1977), a partir de los cuales se dilucidaron tanto el proceso de detección de errores como los orientados a su corrección, por ejemplo los factores que subyacen a la lentificación en la velocidad de respuesta cuando se comete un error (i. e., Jentsch & Dudschig, 2009), o la influencia que las pistas sociales pueden tener sobre el desempeño de una tarea (i. e., Bengtsson, Dolan, & Passingham, 2011).

A pesar de estos avances, la carencia de medidas objetivas para clarificar los mecanismos neurocognitivos que subyacen el control del comportamiento tanto en sujetos normales como en pacientes neurológicos continua siendo un problema a resolver (i.e., Fleming & Ownsworth, 2006; Ownsworth, McFarland, & Mc Young, 2000; Vuilleumier, 2004).

Desde el punto de vista conductual, la ME ha sido medida esencialmente en tareas experimentales que pueden ser del tipo Go/No-Go (i.e., Bartholow & Amodio, 2009; Elton, Spaan, & Ridderinkhof, 2004; Kiehl, Liddle, & Hopfinger, 2000; Vocat, Pourtois, & Vuilleumier, 2008) o tipo *Flanker Task* (i. e., Fiehler, Ullsperger, & von Cramon, 2005), las cuales habitualmente son modificadas para forzar un incremento en la tasa de errores cometidos (Falkenstein, Hoormann, Christ, & Hohnsbein, 2000). Sin embargo, las situaciones experimentales comúnmente evaluadas en el contexto de un laboratorio, difícilmente resultan indicadores confiables del desempeño en la

vida cotidiana, especialmente cuando el objetivo es evaluar la ME en pacientes cerebro-lesionados (i. e., Hart, Giovannetti, Montgomery, & Schwartz, 1998).

Si bien los resultados de los trabajos mencionados han contribuido a tener modelos más precisos sobre el funcionamiento de la ME, muchos de los errores que se estudian son atribuibles más a una ejecución deficiente que a una planeación defectuosa de la respuesta. La clasificación de Reason (1990; para revisión exhaustiva sobre su vigencia y pertinencia, ver Blavier, Rouy, Nyssen, & De Keyser, 2005) describe tres tipos de errores: los errores de planeación (*mistakes*) se deben a problemas en esta etapa (la acción se ejecuta de acuerdo al plan y la intención, pero el plan está mal), los errores de retención (*lapses*) resultan de deficiencias en la retención (no se recupera la intención a tiempo o no se recupera en absoluto) y los errores de ejecución (*slips*) que son consecuencias de problemas en la ejecución de la acción (el plan es correcto pero la ejecución no, dado que la acción no corresponde a la intención).

En general, las evidencias empíricas actuales parecen sugerir que no se ha estudiado suficientemente el sistema de ME con tareas que involucren errores que se encuentren más en la etapa de la planeación (*mistakes*) que en la ejecución (*lapses* y *slips*). Una alternativa a las tareas que se han utilizado tradicionalmente es la formación de categorías.

Las tareas de categorización a partir de reglas (*rule-based tasks*) son aquellas en las que las categorías son aprehendidas a través de un proceso de razonamiento explícito (Ashby & Maddox, 2005). Un requisito es que las reglas que permiten el desempeño adecuado sean fáciles de

describir de manera verbal. Ashby y Maddox consideran que esta descripción verbal puede darse siempre que se cumplan tres reglas: 1) una etiqueta semántica debe corresponder a cada una de las propiedades del estímulo que son relevantes para la decisión; 2) el sujeto debe poder atender de manera selectiva a cada propiedad relevante del estímulo y 3) la regla para combinar la información de las características relevantes del estímulo debe ser en sí verbalizable.

A partir de lo anterior, consideramos pertinente el desarrollo de una tarea que permita obtener información sobre el sistema para monitorización del desempeño (tanto para el estudio de su aspecto conductual como el de sus correlatos cerebrales). Dicha tarea ha de ser de tal naturaleza que los errores que se cometan puedan ser atribuidos más a errores en la etapa de planeación que en la de ejecución. Es por ello que nos propusimos desarrollar una tarea computarizada de categorización a partir de reglas, que permitiera obtener información sobre la ejecución conductual vía medición del tipo de respuestas y tiempos de reacción, controlando su tipo y grado de dificultad de modo tal que induzca la comisión de errores atribuibles a la planeación.

## Método

### » Experimento 1

*“En cada ensayo aparecerán tres imágenes, una después de la otra, que forman una secuencia. Después aparecerán dos imágenes, una al lado de la otra. Sólo una de ellas continúa la secuencia iniciada por las otras tres imágenes. Elige cuál de las dos imágenes continúa la secuencia presionando el botón izquierdo o el derecho. Hay seis bloques de ensayos. En algunos bloques, un sonido agudo te indicará que respondiste de manera correcta y uno grave será señal de error. En los otros bloques no habrá sonidos. Recuerda, lo más importante es responder correctamente, no rápidamente.”*

*Participantes.* 14 adultos jóvenes (edad promedio= 21.93; desviación estándar (d.e.)= 1.14) estudiantes a nivel licenciatura (11 mujeres) participaron voluntariamente en el experimento. Ninguno de ellos tenía antecedentes patológicos relevantes para el estudio o limitaciones sensoriales no corregidas.

*Materiales.* Se diseñó una tarea en E-prime 2.0 (Psychology Software Tools, Inc. 2013, EE.UU.) y se aplicó en un cubículo en condiciones constantes de iluminación y ruido. Se utilizó una computadora portátil para la presentación del experimento y los sujetos se situaron a 60 cms de la pantalla. Las imágenes utilizadas para la tarea fueron de 200 x 200 píxeles (5.2 x 5.2 cms) en una pantalla de 1024 x 768 píxeles (se pueden ver ejemplos en la Figura 1). Las series de estímulos se presentaron de manera aleatorizada, en bloques contrabalanceados. La Figura 2 muestra la estructura de los ensayos.

*Tarea y Procedimiento.* En una sesión de aproximadamente 30 minutos, se presentaron seis bloques de 30 ensayos cada uno. Al inicio del experimento se presentó un bloque de práctica para que los participantes se familiarizaran con la tarea. Las instrucciones se presentaron por escrito en la pantalla. La consigna fue:

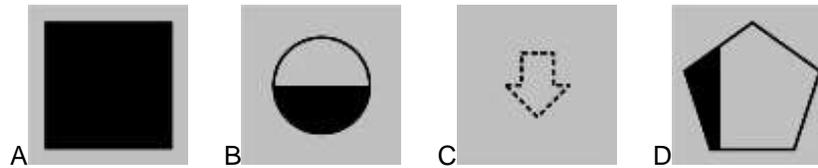


Figura 1. Ejemplos de las imágenes elaboradas para el experimento. **A)** Cuadrado al 100% de tamaño, con 100% de relleno; **B)** Círculo al 75% de tamaño, con 50% de relleno en la parte inferior; **C)** Flecha hacia el sur, al 50% de tamaño, con 0% relleno y línea punteada; **D)** Pentágono al 100% de tamaño, con 25% de relleno en la parte izquierda.

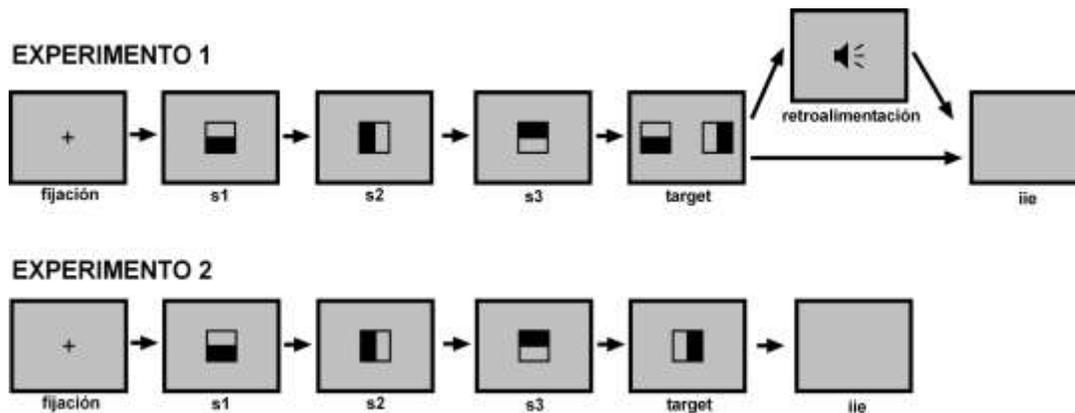


Figura 2. Secuencia de eventos para cada ensayo de ambos experimentos. En el experimento 1 la duración es como sigue: fijación (300ms), estímulos (500ms), intervalo interestímulo (300ms), intervalo pre-target (500 a 1500ms), target (hasta 4000ms), demora entre ensayos (1200ms). Ante el target, el sujeto debe decidir cuál de las dos imágenes continúa la secuencia establecida por las tres primeras. En el experimento 2, la duración de los elementos es la misma, con excepción del target (1300ms); no hay retroalimentación y ante el target el sujeto debe decidir si éste continúa o no la secuencia.

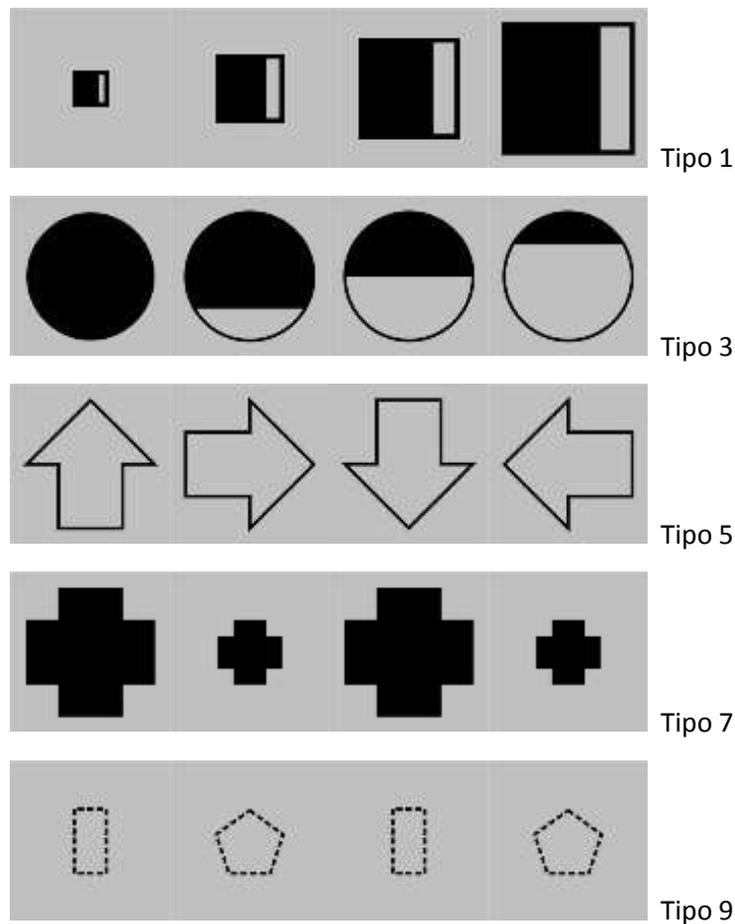
En cada ensayo (ver Figura 2) se presentaba una serie de tres imágenes sucesivas. La serie se establecía variando un aspecto de las figuras (tamaño, forma, relleno, orientación). Los aspectos que variaban en la construcción de las series pueden verse en la Tabla 1; ejemplos de las series pueden verse en la Figura 3. Tras la aparición de los primeros tres elementos de la serie, aparecían dos imágenes y el sujeto debía decidir cuál de las dos culminaba la serie establecida por las tres primeras. En la mitad de los bloques se daba

retroalimentación sobre la precisión al responder cada ensayo. Las respuestas se registraron en la botonera comercial del software utilizado (E-prime), determinando tanto la precisión como el tiempo de respuesta.

Se analizaron los tiempos de respuesta y la precisión (número de aciertos / número de ensayos). Se realizaron análisis de las varianzas, utilizando corrección de Greenhouse-Geisser cuando no se cumplió el supuesto de esfericidad.

Tabla 1  
*Variables Utilizadas para la Elaboración de las Imágenes*

Variable	Valores
<b>Figura</b>	Cuadrado, círculo, rectángulo, flecha, pentágono, cruz
<b>Tamaño</b>	100% (160x160 píxeles), 75% (120x120 píxeles), 50% (80x80 píxeles), 25% (40x40 píxeles)
<b>Orientación</b>	horizontal, vertical, norte, este, sur, oeste
<b>Relleno</b>	100%, 75%, 50%, 25%, 0%
<b>Posición del relleno</b>	superior, inferior, derecha, izquierda
<b>Textura del borde</b>	línea continua, línea punteada



*Figura 3.* Ejemplos de los estímulos utilizados en diferentes series con presentación secuencial. La cuarta imagen de cada una de las series corresponde al estímulo correcto, que se presentó acompañado de un distractor para realizar la elección (ver descripción de los criterios por serie en la Tabla 1).

## Resultados

La precisión global al responder (número total de aciertos/total de ensayos) fue de 0.929 (D.E. 0.071) y la media de los tiempos de reacción de 1013.83 ms (D.E.= 282.56).

Suponíamos que por la naturaleza de los ensayos, la retroalimentación que informaba si se había respondido correctamente no tendría efecto sobre el desempeño. Comparamos la precisión en los ensayos con retroalimentación (Media= 0.97, D.E.= 0.03) con la de los ensayos sin retroalimentación (Media= 0.95, D.E.= 0.04) y las diferencias no fueron estadísticamente significativas ( $t_{(13)}= 1.598$ ,  $p= 0.134$ ). Algo similar ocurrió con los tiempos de respuesta TR): los ensayos con retroalimentación (Media= 918, D.E.= 253) y los ensayos sin retroalimentación ( $X= 970$ ,  $DE= 308$ ) tuvieron TR que no diferían de manera estadísticamente significativa ( $t_{(13)}= -1.595$ ,  $p= 0.135$ ).

Para saber si el tiempo de respuesta disminuía y la precisión aumentaba con el transcurso del experimento, agrupamos los bloques por parejas (dos bloques iniciales, dos bloques medios y dos bloques finales) y realizamos un análisis de varianza.

Al analizar la precisión, el mejor desempeño se observó con un efecto techo en los bloques medios (Media= 1.00, D.E.= 0.00), en comparación con los bloques iniciales ( $X= 0.940$ ,  $DE= 0.059$ ) y los bloques finales (Media= 0.964, D.E.= 0.074) y la diferencia fue estadísticamente significativa ( $F_{(2,4)}= 7.905$ ,  $p < 0.05$ ) con un tamaño del efecto grande ( $\eta^2_p= 0.798$ ). No se encontró un efecto del tipo de variación en la precisión al responder.

En relación al tiempo de respuesta, tampoco hubo diferencias estadísticamente

significativas ( $F_{(2,4)}= 0.839$ ,  $p= 0.49$ ), aunque sí se aprecia una disminución en el bloque medio: bloques iniciales (Media= 724, D.E.= 183.1), bloques medios (Media= 639, D.E.= 227.9) y bloques finales (Media= 687, D.E.= 415.9).

Dado que encontramos un efecto de techo en la precisión y una gran variabilidad en los tiempos de respuesta, se hicieron modificaciones al experimento: se incluyeron ensayos en los que las series se construían variando dos aspectos de manera simultánea y se enfatizó en la consigna proporcionada a cada sujeto que la respuesta tenía que ser emitida en el menor tiempo posible, siempre procurando responder de manera correcta. Al no encontrar diferencias en el rendimiento en función de la presencia o ausencia de retroalimentación, se decidió no utilizarla en el nuevo experimento.

### » Experimento 2

Al igual que con el primer experimento, se utilizó un diseño de un grupo. Las series de estímulos se presentaron de manera aleatorizada y el orden de los bloques fue contrabalanceado.

*Participantes.* Participaron voluntariamente 50 adultos jóvenes (edad promedio= 19.8, D.E.= 0.90) estudiantes a nivel licenciatura (31 mujeres). Al igual que en el primer experimento, ninguno de los participantes tenía antecedentes patológicos relevantes para el estudio o limitaciones sensoriales no corregidas.

*Materiales.* Tarea de categorización similar a la del experimento 1, con las siguientes diferencias: se presentaron 120 ensayos divididos en cuatro bloques. No hubo ensayos con retroalimentación. Ante el estímulo blanco, el participante debía

decidir si éste continuaba o no la serie establecida por los primeros.

*Procedimiento.* En sesiones de aproximadamente 20 minutos, los

participantes respondieron de manera individual a la tarea experimental. Al inicio se presentó un bloque con ensayos de práctica. La consigna fue:

*En cada ensayo aparecerán tres imágenes, una después de la otra, que forman una secuencia. Después de una pausa aparecerá una cuarta imagen rodeada por un cuadro. Tu tarea es decidir si esa cuarta imagen continúa la secuencia iniciada por las otras tres o no. Si consideras que sí continúa la secuencia, presiona el botón derecho. De lo contrario, presiona el botón izquierdo. Hay cuatro bloques de ensayos. Cada bloque dura tres minutos y medio. Recuerda, es importante que respondas tan pronto como puedas evitando al mismo tiempo cometer errores.*

Las respuestas se registraron en la botonera comercial del software y se registró tanto el tipo de respuesta como el tiempo de respuesta. Al igual que en la primera tarea, se registraron tiempos de respuesta y precisión al responder (ensayos correctos / total de ensayos).

## Resultados

La precisión global al responder fue de 0.65 (D.E.= 0.105), con un TR promedio de 700.73 ms (D.E.= 187.810) para los ensayos respondidos correctamente.

Para conocer el comportamiento de los tipos de respuesta en todo el experimento, realizamos un análisis de varianza con dos factores (errores vs. aciertos) x (simples vs. complejos), a partir del cual encontramos una interacción estadísticamente significativa entre precisión al responder y complejidad de la serie ( $F_{(1,48)} = 24.182$ ,  $p < 0.01$ ,  $\eta^2_p = 0.335$ ): cuando los ensayos eran simples, se respondió más rápido cuando se acertó (Media=666, D.E.= 149.100) que cuando se erró (Media= 747, D.E.= 203.980) y la diferencia fue significativa ( $F_{(1,48)} = 26.922$ ,  $p < 0.01$ ,  $\eta^2_p = 0.359$ ). Sin

embargo, cuando los ensayos eran complejos esto se invirtió: se respondió más rápido cuando se erró (Media= 724, D.E.= 154.280) que cuando se acertó (Media= 739, D.E.= 154.630), aunque la diferencia no fue estadísticamente significativa ( $F_{(1,48)} = 2.745$ ,  $p = 0.104$ ,  $\eta^2_p = 0.054$ ).

A partir de la distribución de los TR para cada sujeto, se calculó la precisión en la respuesta de los ensayos a los que se respondió muy rápida o lentamente (primer y último cuartil de la distribución de los TR) y se comparó con el resto de los ensayos (segundo y tercer cuartil). La precisión al responder en los ensayos rápidos y lentos fue menor ( $m = 0.68$ ,  $DE = 0.630$ ) que en el resto de los ensayos (Media= 0.74, D.E.= 0.560) y la diferencia fue estadísticamente significativa ( $t_{(49)} = 4.289$ ,  $p < 0.01$ ) con un tamaño de efecto grande ( $r = 0.52$ ).

Para el análisis del patrón de precisión, tomando en cuenta sólo los ensayos a los que se respondió correctamente, se realizó un Análisis de Varianza (ANOVA) de 2 x 4 x 2, considerando tres variables: complejidad de la serie (simple vs. compleja), bloque en la sesión (1,2,3 y 4) y congruencia (target congruente vs. incongruente).

La precisión al responder fue mayor para los ensayos simples ( $X = 0.784$ ,  $DE = 0.119$ ) que para los complejos (Media = 0.517,  $DE = 0.112$ ). Estas diferencias fueron estadísticamente significativas ( $F_{(1,48)} = 389.6$ ,  $p < 0.01$ ,  $\eta^2_p = 0.890$ ). También se observó que la precisión en las respuestas aumentaba con el transcurso del experimento: bloque 1 (Media = 0.585,  $DE = 0.161$ ), bloque 2 (Media = 0.638,  $DE = 0.119$ ), bloque 3 (Media = 0.679,  $DE = 0.140$ ) y bloque 4 (Media = 0.701,  $DE = 0.119$ ). Esta diferencia fue estadísticamente significativa ( $F_{(3,144)} = 11.511$ ,  $p < 0.01$ ,  $\eta^2_p = 0.193$ ). En cuanto al efecto de la congruencia en la precisión, los ensayos con series congruentes (Media = 0.741,  $DE = 0.091$ ) tuvieron mayor precisión que los de series incongruentes (Media = 0.560,  $DE = 0.147$ ). La diferencia fue estadísticamente significativa ( $F_{(1,48)} = 86.005$ ,  $p < 0.01$ ,  $\eta^2_p = 0.642$ ). El análisis de la varianza no mostró interacciones significativas entre las variables.

En cuanto a los tiempos de reacción, fueron menores para los ensayos simples (Media = 666,  $DE = 182.5$ ) que para los complejos (Media = 735,  $DE = 190.1$ ). Estas diferencias fueron estadísticamente significativas ( $F_{(1,21)} = 41.576$ ,  $p < 0.01$ ,  $\eta^2_p = 0.664$ ). También se observó que (como se esperaba) los tiempos de reacción disminuían con el transcurso del experimento: bloque 1 (Media = 735,  $DE = 263.0$ ), bloque 2 (Media = 720,  $DE = 204.3$ ), bloque 3 (Media = 681,  $DE = 179.8$ ) y bloque 4 (Media = 667,  $DE = 178.5$ ). Esta diferencia fue estadísticamente significativa ( $F_{(1,665,34.957)} = 3.619$ ,  $p < 0.05$ ,  $\eta^2_p = 0.147$ ). En cuanto al efecto de la congruencia en la eficiencia, los ensayos con series congruentes (Media = 634,  $DE = 193.3$ ) tuvieron menores tiempos de reacción que

los de series incongruentes (Media = 768,  $DE = 87.1$ ). La diferencia fue estadísticamente significativa ( $F_{(1,21)} = 76.842$ ,  $p < 0.01$ ,  $\eta^2_p = 0.785$ ).

El análisis de la varianza mostró una interacción significativa entre complejidad y bloque ( $F_{(3,63)} = 6.276$ ,  $p < 0.01$ ,  $\eta^2_p = 0.230$ ), lo cual implica que en el primer bloque los tiempos de reacción fueron muy similares para series simples (Media = 734.21,  $DE = 179.060$ ) y complejas (Media = 735.46,  $DE = 291.060$ ), en tanto que a partir del segundo bloque los tiempos siempre fueron menores para las series simples ( $p < 0.01$ ).

## Discusión

El desempeño en el primer experimento permitió hacer ajustes en cuanto al grado de complejidad (para evitar el efecto de techo en la precisión), los tiempos de respuesta (énfasis en la respuesta rápida para disminuir la variabilidad) y número de variables involucradas (se eliminó la retroalimentación, dado que no tenía un efecto sobre el desempeño).

El patrón de desempeño en el segundo experimento, además de proporcionar una cantidad importante de errores que pueden ser estudiados desde la perspectiva conductual o electrofisiológica, permite suponer que la fuente de gran parte de estos depende de la elaboración deficiente de la respuesta más que de la ejecución de la misma: de manera global los tiempos de respuesta fueron mayores cuando la respuesta fue incorrecta en comparación con los aciertos. Esto puede ser interpretado como resultado de un alto nivel de dificultad en la tarea y una presión para responder de manera correcta (i. e., Luce, 1986; Swenson, 1972). Esta tendencia fue especialmente clara en los ensayos

complejos, lo que indicaría que en éstos la respuesta obedecería tanto a la exigencia de precisión como a la de respuesta rápida (ambas presentes en la consigna). En el caso de los ensayos simples, el hecho de que se respondiera más rápido cuando se acertaba puede ser interpretado como un predominio de la presión para responder correctamente (sobre la presión para responder rápido). El que la precisión en los ensayos rápidos y lentos fuera menor que en el resto puede ser interpretado también como resultado tanto de una alta demanda discriminativa como presión por una respuesta rápida (Luce).

De manera bastante consistente, la tasa de errores para los ensayos simples es de alrededor del 15% en tanto para los ensayos complejos es del 45%. También de manera consistente, en la tarea experimental 2 se responde con mayor precisión y rapidez en aquellos ensayos en los que la imagen blanco continúa con la secuencia establecida por las primeras. Estos hallazgos coinciden con diversos estudios en los que se ha reportado que es más fácil identificar si una respuesta es correcta que si es errónea (i. e., Jasinski & Coch, 2012).

Si bien en el primer experimento la precisión al responder presentaba un patrón con efecto techo, la inclusión en el segundo experimento de ensayos complejos modifica este patrón y permite la obtención de un mayor número de errores. Igualmente, el efecto techo observado en el primer experimento era tal que el avance en los bloques no se acompañaba de una disminución en los tiempos de respuesta ni en un incremento en la precisión, patrón que sí puede observarse en el segundo experimento.

En este sentido, el resultado de la ejecución de una tarea como la presentada en el segundo experimento contrasta con los resultados del primero al menos en dos sentidos: por una parte incorporaría una mayor carga cognitiva asociada a la elevación en el grado de dificultad -el sujeto debió ponderar la variación simultánea de más de una característica del estímulo para responder correctamente, y en segundo término, el lidiar con una mayor demanda debería haber producido un efecto de fatiga en la ejecución, como sucede habitualmente cuando se prolonga en el tiempo la ejecución de tareas que evalúan procesos atencionales (i. e., Boksem, Meijman, & Lorist, 2005; Marcora, Staiano, & Manning, 2009). Sin embargo, los presentes resultados parecen indicar la preponderancia de un efecto de aprendizaje más que de fatiga, debido a que la ejecución mejoró con el decursar de los bloques de estímulos. Una explicación a este efecto podría subyacer en la propia naturaleza de la tarea: si se tratara solamente de un mecanismo de facilitación perceptual, no observaríamos el efecto que los ensayos van produciendo a lo largo del experimento (Luce, 1986).

Como mencionamos en la introducción, para el estudio de la monitorización de errores consideramos pertinente contar con tareas capaces de inducir la comisión de errores en la planeación de las respuestas que puedan ser utilizadas para estudiar tanto sus aspectos conductuales (ej. modificación en los tiempos de respuesta) como los electrofisiológicos (ej. variaciones eléctricas cerebrales asociadas a este sistema). En este sentido, consideramos que la tarea de formación de categorías a partir de reglas que hemos desarrollado permite entre otras cosas obtener un buen

número de errores (el 35% de un total de 120 ensayos distintos entre sí) que pueden ser atribuidos a dificultades en la planeación o elaboración de la respuesta y por ende utilizados en experimentos ulteriores.

Es necesario enfatizar en la importancia de realizar un estudio más detallado sobre el comportamiento de cada una de las series que constituyen los ensayos de experimento. Si bien el análisis estadístico mostró que no había un efecto de la figura utilizada o de las variables cuya modificación construía la serie, es relevante obtener más datos sobre la consistencia interna de la tarea. Igualmente, la utilización de esta tarea mientras se lleva a cabo un registro electrofisiológico permitiría formular hipótesis con mayor sustento respecto a los mecanismos subyacentes a los errores observados.

### Referencias

Ashby, F. G., & Maddox, W. T. (2005). Human category learning. *Annual Review of Psychology, 56*, 149-178.

Banfield, J. F., Wyland, C. L., Macrae, C. N., Münte, T. F., & Heatherton, T. F. (2007). The cognitive neuroscience of self-regulation. En R. F. Baumeister, & K. D. Vohs (Eds.), *Handbook of self-regulation. Research, theory, and applications* (pp. 62-83). Nueva York: Guilford.

Bartholow, B. D., & Amodio, D. M. (2009). Using event-related brain potentials in social psychological research. A brief review and tutorial. En E. Harmon-Jones, & J.S. Beer (Eds.), *Methods in social neuroscience* (pp.198-232). Nueva York: Guilford.

Bengtsson, S. L., Dolan, R. J., & Passingham, R. E. (2011). Priming for self-esteem influences the monitoring of one's own performance. *Social Cognitive and Affective Neuroscience, 6*, 417-425.

Blavier, A., Rouy, E., Nyssen, A.-S., & De Keyser, V. (2005). Prospective issues for error detection. *Ergonomics, 48*, 758-781.

Boksem, M. A., Meijman, T. F., & Lorist, M. M. (2005). Effects of mental fatigue on attention: An ERP study. *Cognitive Brain Research, 25*(1), 107-116.

Elton, M., Spaan, M., & Ridderinkhof, K. R. (2004). Why do we produce errors of commission? An ERP study of stimulus deviance detection and error monitoring in a choice go/no-go task. *European Journal of Neuroscience, 20*, 1960-1968.

Falkenstein, M., Hoormann, J., Christ, S., & Hohnsbein, J. (2000). ERP components on reaction errors and their functional significance: A tutorial. *Biological Psychology, 51*, 87-107.

Fiehler, K., Ullsperger, M., & von Cramon, D.Y. (2005). Electrophysiological correlates of error correction. *Psychophysiology, 42*, 72-82.

Fleming, J. M., & Ownsworth, T. (2006). A review of awareness interventions in brain injury rehabilitation. *Neuropsychological Rehabilitation, 16*(4), 474-500.

Hart, T., Giovannetti, T., Montgomery, M. W., & Schwartz, M. F. (1998). Awareness of errors in naturalistic action after traumatic brain injury. *Journal of Head Trauma Rehabilitation, 13*, 16-28.

- Heatherington, T. F. & Wagner, D. D. (2011). Cognitive neuroscience of self-regulation failure. *Trends in Cognitive Sciences*, 15, 132-139.
- Jasinski, E. C., & Coch, D. (2012). ERPs across arithmetic operations in a delayed answer verification task. *Psychophysiology*, 49(7), 943-958.
- Jentsch, I., & Dudschig, C. (2009). Why do we slow down after an error? Mechanisms underlying the effects of posterror slowing. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 62(2), 209-218.
- Kiehl, K. A., Liddle, P. F., & Hopfinger, J. B. (2000). Error processing and the rostral anterior cingulate: An event-related fMRI study. *Psychophysiology*, 37, 216-223.
- Luce, R. D. (Ed.). (1986). Two-choice reaction times: Basic ideas and data. En *Response times: Their role in inferring elementary mental organization* (pp. 205-272). Nueva York: Oxford University Press.
- Marcora, S. M., Staiano, W., & Manning, V. (2009). Mental fatigue impairs physical performance in humans. *Journal of Applied Physiology*, 106(3), 857-864.
- Owensworth, T. L., McFarland, K., & Mc Young, R. (2000). Self-awareness and psychosocial functioning following acquired brain injury: An evaluation of a group support programme. *Neuropsychological Rehabilitation*, 10(5), 465-484.
- Owensworth, T. L., Quinn, H., Fleming, J., Kendall, M., & Shum, D. (2010). Error self regulation following traumatic brain injury: A single case study evaluation of metacognitive skills training and behavioural practice interventions. *Neuropsychological Rehabilitation*, 20, 59-80.
- Rabbitt, P., & Rodgers, B. (1977). What does a man do after he makes an error? An analysis of response programming. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 29, 727-743.
- Reason, J., (1990). *Human error*. Cambridge, MA: Cambridge University Press.
- Swensson, R. G. (1972). The elusive tradeoff: Speed vs. accuracy in visual discrimination tasks. *Perception & Psychophysics*, 12, 16-32.
- Taylor, S. F., Stern, E. R., & Gehring, W. J. (2007). Neural systems for error monitoring: Recent findings and theoretical perspectives. *Neuroscientist*, 13, 160-172.
- Ullsperger, M. (2006). Performance monitoring in neurological and psychiatric patients. *International Journal of Psychophysiology*, 59, 59-69.
- Ullsperger, M. & von Cramon, D.Y. (2001). Subprocesses of performance monitoring: A dissociation of error processing and response competition revealed by event related fMRI and ERPs. *NeuroImage*, 14, 1387-1401.
- Vocat, R., Pourtois, G., & Vuilleumier, P. (2008). Unavoidable errors: A spatio-temporal analysis of time-course and neural sources of evoked potentials associated with error processing in a speeded task. *Neuropsychologia*, 46, 2545-2555.

Vuilleumier, P. (2004). Anosognosia: the neurology of beliefs and uncertainties. *Cortex*, 40, 9-17.

Zeman, A. (2006). What do we mean by "conscious" and "aware"? *Neuropsychological Rehabilitation*, 16, 356-376.