



# UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA

---

Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias  
División de Ciencias Biológicas  
Departamento de Ciencias Ambientales

## INSTITUTO DE NEUROCIENCIAS

**PROCESAMIENTO DE RETROALIMENTACIÓN ASOCIADA CON  
ERRORES PROPIOS Y AJENOS: EFECTOS DE LA DISTANCIA SOCIAL  
Y LA EMPATÍA EN LOS POTENCIALES RELACIONADOS CON  
EVENTOS.**

Tesis

que para obtener el grado de

**DOCTOR EN CIENCIA DEL COMPORTAMIENTO  
(ORIENTACIÓN NEUROCIENCIA)**

presenta

**Erwin Rogelio Villuendas González**

Comité tutorial

**Dr. Andrés Antonio González Garrido (Director)**

Dr. Félix Héctor Martínez Sánchez

Dr. Daniel Zarabozo Enríquez de Rivera

Guadalajara, Jalisco

Enero del 2014

## *Agradecimientos*

*A las siguientes personas e instituciones, que contribuyeron tanto a la conclusión de mis estudios en el programa de doctorado, como en el desarrollo del presente trabajo:*

*A Andrés González Garrido, director del trabajo, por compartir su tiempo y conocimientos, y de manera especial por su amistad,*

*A Héctor Martínez Sánchez y Daniel Zarabozo Enríquez de Rivera, miembros del comité tutorial, por su compromiso en la formación de los estudiantes y en la mejora de los proyectos,*

*A Julieta Ramos Loyo y Oscar García Leal, lectores y sinodales, por su tiempo y conocimientos,*

*A Fabiola Gómez Velázquez, profesor asociado en el laboratorio, por sus invaluable comentarios, sugerencias, y amistad,*

*A todos los estudiantes del Laboratorio de Neurofisiología Clínica, por diversas razones,*

*A mi familia: Judith, Mariano y Sebastián, por su gran apoyo en todos los aspectos,*

*A mi señora madre, por su apoyo incondicional,*

*A mi hermano Carlos, nuevamente por enseñarme a leer, entre otras cosas,*

*Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, cuya beca me permitió cursar los estudios de doctorado,*

*A las personas que participaron en el experimento, por haber estado dispuestos a ceder un poco de su tiempo en aras del avance científico,*

*A las autoridades de la Facultad de Psicología de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo en particular y de dicha casa de estudios en general, por permitirme ausentarme de mis labores para continuar con mi formación profesional,*

*A la Society for Psychophysiological Research, en especial al Prof. Jaime Vila, con una de cuyas becas pudimos presentar resultados preliminares de este estudio y recibir valiosa retroalimentación de profesionales del área,*

*Al personal administrativo del Instituto de Neurociencias, y en especial a Pilar Vidaurre, por facilitar nuestro paso por esta casa de estudios.*

<b>RESUMEN</b> .....	<b>5</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>6</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>7</b>
<b>ANTECEDENTES TEÓRICOS</b> .....	<b>10</b>
REGULACIÓN CONDUCTUAL Y DETECCIÓN DE ERRORES .....	11
<i>Aspectos conductuales de la comisión de errores</i> .....	12
<i>Aspectos neurofisiológicos de la comisión de errores</i> .....	13
Modelo de detección de errores. ....	14
Modelo de detección del conflicto. ....	14
Modelo de reforzamiento.....	15
ASPECTOS NEUROFISIOLÓGICOS DEL PROCESAMIENTO DE RETROALIMENTACIÓN (PR) .....	16
<i>Desarrollo del procesamiento de retroalimentación (PR)</i> .....	16
<i>Bases anatomofisiológicas del procesamiento de la retroalimentación</i> . ....	17
Estudios de imagen.....	18
Potenciales relacionados con eventos (PREs).....	20
Negatividad relacionada con la retroalimentación (Feedback related negativity, FRN).....	21
P300 relacionado con la retroalimentación (Feedback Related P300, fp300).....	22
<i>Alteraciones en el procesamiento de la retroalimentación</i> . ....	23
PROCESAMIENTO VICARIO Y NO CONTINGENTE DEL ERROR .....	23
<i>Neurofisiología de la empatía</i> .....	24
<i>Distancia social</i> . ....	25
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	25
<i>Objetivos</i> .....	26
<i>Preguntas de investigación e hipótesis</i> .....	27
<b>MÉTODOS</b> .....	<b>29</b>
PARTICIPANTES .....	29
INSTRUMENTOS.....	29
<i>Tarea 1. Categorización a partir de reglas</i> .....	30
<i>Tarea 2. Revisión pasiva del desempeño</i> . ....	32
<i>Inventario de Reactividad Interpersonal (I.R.I)</i> . ....	34
<i>Cuestionario para estimar la distancia social en el grupo</i> . ....	34
PROCEDIMIENTO .....	34
REGISTRO ELECTROENCEFALOGRÁFICO.....	35
CONSIDERACIONES ÉTICAS.....	36

ANÁLISIS DE DATOS .....	36
<b>RESULTADOS .....</b>	<b>39</b>
EMPATÍA .....	39
TAREA 1. DATOS CONDUCTUALES .....	40
TAREA 2. DATOS ELECTROFISIOLÓGICOS.....	42
<i>Negatividad relacionada con la retroalimentación (Feedback related negativity, FRN).</i> .....	42
<i>P300 relacionado con la retroalimentación (Feedback related P300, fP300).</i> .....	43
<i>Empatía y procesamiento de la retroalimentación.....</i>	43
Grupos altos y bajos en la Escala de Fantasía. ....	44
Grupos altos y bajos en la Escala de Preocupación Empática .....	46
<i>Análisis de los componentes por bandas de frecuencia.....</i>	46
Negatividad relacionada con la retroalimentación en banda theta.....	47
P300 relacionado con retroalimentación (fP300) en banda delta. ....	47
<b>DISCUSIÓN .....</b>	<b>48</b>
RESUMEN DE LOS HALLAZGOS.....	48
HALLAZGOS CONDUCTUALES .....	48
HALLAZGOS NEUROFISIOLÓGICOS .....	49
EVALUACIÓN DE LOS MÉTODOS .....	52
SUGERENCIAS DE MODIFICACIONES Y EXTENSIONES AL ESTUDIO .....	52
CONCLUSIONES .....	53
<b>REFERENCIAS .....</b>	<b>55</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>65</b>

## Resumen

La monitorización del desempeño depende de estructuras corticales que también se activan durante la monitorización vicaria y se comparte, al menos parcialmente, con el procesamiento de la empatía. En tanto que muchos experimentos han mostrado que la monitorización vicaria y en línea tienen bases similares, la mayor parte de éstos se han enfocado en tareas simples. Para evaluar el efecto de la retroalimentación no contingente sobre la monitorización vicaria, 23 jóvenes adultos en una primera sesión respondieron a una tarea de categorización a partir de reglas, sin retroalimentación. En una segunda sesión, se realizó un registro encefalográfico simultáneo para obtener potenciales relacionados con eventos, mientras los sujetos revisaban de manera pasiva el desempeño atribuido a sí mismos y a compañeros de grupo a quienes habían calificado como socialmente cercanos o distantes. Se analizaron los componentes FRN y fp300 a partir de la valencia y agente de la retroalimentación. Para el análisis de empatía, los sujetos fueron divididos en alta y baja empatía a partir de las sub-escalas del IRI. Los resultados muestran que la FRN no contingente es modulada por la valencia de la retroalimentación, y el fp300 es modulado por el agente a quien se atribuye el desempeño. No se observaron diferencias para la FRN entre sujetos con alta/baja empatía. Los sujetos que fueron clasificados con alta o baja empatía en las subescalas de Fantasía y Preocupación Empática del IRI tuvieron distintos patrones de fp300: los últimos mostraron voltajes similares para la retroalimentación atribuida a su propio desempeño y a la atribuida a personas cercanas, mientras que los primeros mostraron voltajes similares para todos los pares, independientemente de la distancia social. Este experimento constituye una aproximación novedosa para la evaluación del efecto de la empatía y la distancia social en los PREs relacionados con la monitorización vicaria, a través de retroalimentación no contingente.

**Palabras clave:** Monitorización, FRN, P300, Empatía, Distancia Social.

## **Abstract**

Performance monitoring depends on cortical structures that are also activated in vicarious monitoring and shared, at least partially, with empathy processing. While many experiments have shown that vicarious and on-line monitoring have a similar basis, most such experiments have focused on simple tasks. In order to assess the effect of non-contingent feedback on vicarious monitoring, 23 young volunteer adults were evaluated: in one session, they performed a rule-based category formation task, without feedback. In a second session, ERPs were obtained while subjects passively reviewed performances attributed to themselves and peers they had rated as either socially close or distant. FRN and fP300 components were analyzed with respect to the valence and agent of the feedback. For empathy analysis, subjects were split into high/low empathizers on the IRI subscales. Results show that non-contingent FRN waves are modulated by the valence of the feedback, and that P300 is modulated by the agent to whom performance feedback is attributed. We observed no differences for FRN on high-*vs.* low-empathizers. Subjects classified as low- or high-empathizers in the Fantasy and Empathic Concern of the IRI had distinct fP300 patterns: the latter showed similar voltages for feedback related to their own performance and to that of someone close to them, while the former showed similar voltages for peers regardless of social distance. This experiment constitutes a novel approach to the evaluation of ERP correlates of vicarious monitoring through non-contingent feedback and its relations to empathy processing.

**Keywords:** Performance Monitoring, FRN, P300, Empathy, Social Distance.

## Introducción

La psicología experimental tradicionalmente se ha enfocado en el desempeño correcto en las tareas para medir tiempos de respuesta, inferir procesos subyacentes y construir modelos de la cognición. Las razones son múltiples, pero en esencia tienen que ver con que es en los ensayos a los que el sujeto responde correctamente donde es más probable que el sujeto haya efectivamente estado realizando la tarea que se le pidió. En otras palabras, hay más de común en los procesos que subyacen a una serie de sumas mentales a las que se responde correctamente, que en aquellas en las que la respuesta es errónea.

Es así que durante mucho tiempo los errores fueron dejados de lado en la psicometría tradicional y en la psicología experimental. En la primera se consideraba (y aún se sigue haciendo así) que lo más importante era medir lo que el sujeto podía hacer para tener un estimado del nivel de inteligencia, por ejemplo. Es a mediados del siglo pasado que se comienza a desarrollar el interés por una evaluación más cualitativa en la que es importante tanto lo que el sujeto responde de manera correcta como aquello a lo que no responde –y sobre todo *de qué manera* no responde.

Gran parte del conocimiento que tenemos sobre la estructura de los procesos psicológicos surge paradójicamente de su mal funcionamiento, ya sea por trastornos en el desarrollo o por alteraciones derivadas de disfunciones adquiridas una vez que el proceso se encuentra en pleno funcionamiento. Así, la psicología cognitiva ha construido modelos sobre prácticamente todos los procesos mentales y éstos han sido posibles a partir de los casos en que por razones diversas las disfunciones revelan las estructuras subyacentes.

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 (e.g. 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 signo 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.

A pesar de lo anterior, para los sistemas cognitivos con los que contamos para verificar nuestro desempeño y regular la conducta es tan importante el error como el desempeño correcto. Cuando al producir una respuesta no obtenemos el resultado esperado, un sistema que permite saber que nos hemos equivocado, teorizar sobre la fuente del error y ejecutar los ajustes correspondientes en las conductas ulteriores ha demostrado su eficacia a lo largo del proceso evolutivo.

Los primeros estudios enfocados específicamente a lo que ocurre cuando cometemos errores se realizaron en la década de los 60s, y muchas de sus conclusiones siguen siendo vigentes (e.g. Rabbitt, 1966; Rabbitt & Rodgers, 1977). Los años siguientes fueron testigos del surgimiento de nuevas técnicas para el abordaje de los procesos cognoscitivos y el estudio de sus bases neuronales. La investigación en este campo nos ha dado a conocer en buena medida qué es lo que ocurre en el cerebro cuando cometemos un error, y de qué manera esto ayuda a desarrollar conductas más complejas y precisas.

En el año 2007, en el contexto de la reunión anual de la Sociedad para la Investigación Psicofisiológica (*Society for Psychophysiological Research*), Robert Simons (entonces presidente de la sociedad) dictó una conferencia en la que resumía el trabajo de una década en su equipo de investigación orientado a las bases psicofisiológicas de la monitorización del error (Simons, 2010). Una de las conclusiones fue que a pesar de que son varios y muy fuertes los grupos de investigación que abordan estos problemas, los modelos teóricos actuales siguen siendo insuficientes para incorporar todos los datos en la literatura sobre el tema. Como veremos más adelante, al menos tres modelos que intentan explicar los mecanismos para la regulación a través de los errores siguen teniendo vigencia.

La monitorización del desempeño siempre ocurre en un contexto determinado que la influye: cuando aprendemos a realizar una tarea, nos encontramos en presencia de los otros y muchas veces el aprendizaje tiene lugar precisamente a partir de la observación. En otras palabras, somos capaces de detectar los errores en nuestra conducta y (tal vez incluso con mayor precisión) los errores en la conducta de los otros. Esto es posible a partir del funcionamiento de un sistema complejo que involucra regiones cerebrales que, de manera no casual, se comparten con otros procesos como la empatía. Diversos estudios han



mostrado que no sólo la monitorización del desempeño y la empatía comparten estructuras neuronales, sino que es probable que compartan también procesos cognitivos, lo que determinaría que uno influya en el otro.

Son pocos los estudios que han abordado tanto la monitorización del desempeño en el plano observacional como la empatía y sus bases psicofisiológicas. El presente estudio pretende contribuir en este campo investigando las características de los componentes neurofisiológicos asociados con el procesamiento de la retroalimentación del desempeño propio y ajeno, y sus relaciones con la empatía.

En la primera parte de este trabajo se describe la manera en que el proceso de monitorización del desempeño funciona (se abordan las teorías vigentes sobre los procesos cognitivos subyacentes). Se describen también los hallazgos tanto en estudios de imagen como psicofisiológicos al respecto. Al igual que el resto de los procesos psicológicos, la regulación de la conducta atraviesa por un desarrollo y puede verse alterada por diversos procesos patológicos; estos problemas son abordados en el apartado correspondiente. Finalmente, se describen los datos de la literatura que vinculan la monitorización del desempeño con la capacidad del individuo de empatizar con las situaciones que afectan a los otros. Los capítulos siguientes detallan los métodos utilizados en nuestro experimento y los resultados obtenidos.

La contribución del presente estudio puede ser resumida como sigue: los componentes electrofisiológicos asociados con el procesamiento de la retroalimentación en línea de los errores propios pueden ser obtenidos también a partir de errores ajenos y en un contexto no contingente en el que la retroalimentación ya no tiene valor de regulación conductual. La manera en que estos componentes varían entre las personas con baja o alta empatía permite afirmar, con las reservas correspondientes, que en las personas más empáticas el procesamiento de los errores propios y de personas cercanas se realiza de manera hasta cierto punto similar, en tanto que en las personas poco empáticas, los errores de los otros se procesan de distinta manera a los propios. Estos puntos se discuten en el apartado final.

## **Antecedentes Teóricos**

Cuando realizamos cualquier tarea, ponemos en marcha un conjunto de mecanismos que a partir de la retroalimentación interna o del ambiente nos informa en qué medida lo que estamos haciendo coincide con lo que habíamos planeado. Este sistema permite hacer ajustes cuando los resultados no son adecuados y es una importante condición para el aprendizaje. No obstante, dicho sistema puede verse alterado en diversas patologías haciendo que las personas no detecten adecuadamente sus errores en tareas experimentales o en la vida diaria.

Los lóbulos frontales son responsables en gran parte de la coordinación de los procesos cognitivos dirigidos a la auto-regulación, como la verificación de la actividad, la monitorización de errores (ME), la elaboración e implementación de planes de acción y el procesamiento de la retroalimentación (PR); sus conexiones con otras estructuras cerebrales les permiten integrar en una representación información externa e interna, elementos del pasado y motivaciones (Dubois, Pillon & Sirigu, 1998; Faglioni, 1996). Sin embargo, no ha sido sino hasta las últimas décadas en que un gran número de investigaciones han estado orientadas a dilucidar con precisión cómo funcionan estos mecanismos, de qué estructuras dependen, cómo se desarrollan, cómo pueden alterarse y de qué manera pueden ser objeto de reeducación o rehabilitación: estudios de pacientes con lesiones cerebrales focales muestran cómo los desórdenes clínicos de la autoconciencia y metacognición pueden estar asociados con la patofisiología prefrontal y llevar a déficits adaptativos en el funcionamiento cotidiano (e.g. Eslinger, 2008).

Nuestra investigación se enfoca a uno de estos procesos: el procesamiento de la retroalimentación (PR). Más adelante se describen algunos de los numerosos estudios que hay en la literatura científica de este campo, algunos de los cuales han realizado abordajes parecidos al que aquí proponemos: estudiar los correlatos tanto conductuales como neurofisiológicos relacionados con el procesamiento de retroalimentación a partir de aciertos y errores propios y ajenos en una tarea experimental. Diversos hallazgos reportados

en la literatura muestran que algunas de las características de componentes de los Potenciales Relacionados con Eventos (PREs) pueden ser compartidas entre las ondas que aparecen cuando se recibe retroalimentación sobre un error propio y sobre uno ajeno.

Un conocimiento de la manera en que influyen algunas variables como la empatía y la atribución del error sobre los componentes relacionados con el PR contribuirá a la discusión vigente sobre la naturaleza de estos fenómenos y la caracterización de los mecanismos que nos permiten detectar errores y actuar en consecuencia.

### **Regulación Conductual y Detección de Errores**

La monitorización del error (ME) forma parte de un conjunto de procesos cognitivos orientados a la auto-regulación. La ME puede definirse como el control a nivel superior (ejecutivo) de procesos de nivel inferior y es responsable de la planeación y ejecución del comportamiento (e.g. Banfield, Wyland, Macrae, Münte & Heatherton, 2007; Heatherton & Wagner, 2011). Esta monitorización incluye tanto la evaluación en tiempo real del desempeño durante tareas particulares como 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, al menos tres sistemas que pueden ser funcional y anatómicamente dissociables han sido descritos: uno que monitoriza el conflicto entre respuestas, otro que detecta las acciones erróneas (Ullsperger & von Cramon, 2001), y otro que respondería a la ausencia de reforzamiento en el ambiente.

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 (e.g. 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 (e.g. 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 disminución en la velocidad de respuesta cuando se comete un error (e.g. Jentsch & Dudschig, 2009), o la influencia que

las pistas sociales pueden tener sobre el desempeño de una tarea (e.g. Bengtsson, Dolan & Passingham, 2011).

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 muestran 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: (a) una etiqueta semántica debe corresponder a cada una de las propiedades del estímulo que son relevantes para la decisión; (b) el sujeto debe poder atender de manera selectiva a cada propiedad relevante del estímulo; y (c) la regla para combinar la información de las características relevantes del estímulo debe ser en sí verbalizable.

### **Aspectos conductuales de la comisión de errores.**

Aunque los correlatos neurofisiológicos de la monitorización del error se han investigado más en las últimas décadas, su estudio en el plano conductual tiene una larga tradición. Como ya hemos mencionado, los estudios clásicos de Rabbitt (e.g. Rabbitt &

Rodgers, 1977) mostraban cómo la velocidad en las respuestas disminuía cuando el participante se daba cuenta de que había cometido un error. Un estudio reciente realizado por Bellebaum, Rustemeier y Daum (2012) mostró que las personas mayores tienden a aprender mejor a partir de retroalimentación positiva en comparación con la retroalimentación negativa, efecto que no se observa en los adultos jóvenes.

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 continúa siendo un problema a resolver (e.g. Fleming & Owsnworth, 2006; Owsnworth, McFarland & Young, 2000; Vuilleumier, 2004).

En cuanto a los instrumentos experimentales, la ME ha sido medida esencialmente a través de paradigmas que pueden ser del tipo Go/No-Go (e.g. Bartholow & Amodio, 2009; Elton, Spaan & Ridderinkhof, 2004; Kiehl, Liddle & Hopfinger, 2000; Vocat, Pourtois & Vuilleumier, 2008) o tipo *Flanker Task* (e.g. 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 (e.g. Hart, Giovannetti, Montgomery & Schwartz, 1998).

### **Aspectos neurofisiológicos de la comisión de errores.**

A partir de la obtención de componentes electrofisiológicos relacionados con la comisión de errores, se han propuesto diversas teorías que en el plano cognitivo intentan explicar de qué manera se da la regulación del desempeño. Tres teorías son las que más poder explicativo tienen hasta el momento y si bien en apariencia son excluyentes, no se puede descartar que en realidad cada una esté explicando una parte pequeña del fenómeno total: (a) el modelo de detección de errores (Gehring, Goss, Coles, Meyer & Donchin, 1993); (b) el modelo de detección del conflicto (Botvinick, Cohen & Carter, 2004); y, (c) el modelo de reforzamiento (Ridderinkhof, Ullsperger, Crone & Nieuwenhuis, 2004). A continuación se detalla cada una.

### ***Modelo de detección de errores.***

Gehring et al. (1993), tras analizar los componentes eléctricos observados en los errores cometidos en una tarea propusieron como modelo explicativo un sistema cuya función sería la monitorización y compensación del comportamiento erróneo. Tanto en tareas en las que se cometieran errores de elección, errores de acción o de estimación, se observaba un componente negativo al restar los aciertos de los errores, siendo la diferencia máxima alrededor de los 100 milisegundos después de las respuestas. Este componente se conoce como la Negatividad Relacionada con el Error (o *Error Related Negativity*, ERN). El voltaje de este componente estaba relacionado con el énfasis de la tarea: era mayor si se enfatizaba el responder bien y disminuía si lo que se le pedía al sujeto era responder rápido. El tiempo en el que se observa la respuesta eléctrica implicaría que el modelo de respuesta con el que se compara la respuesta real no se basa en información sensorial o propioceptiva, dado que tal información no podría estar disponible sino hasta que la respuesta ha sido iniciada.

La detección de una disparidad entre la respuesta esperada y la emitida podría tener lugar a varios niveles de la respuesta, de acuerdo con el modelo propuesto por Sellen (1994): (a) detección con base en la acción (incongruencia entre el plan de acción y la acción ejecutada, incongruencia entre las intenciones conscientes y las acciones ejecutadas); (b) detección con base en el resultado (incongruencia entre el resultado esperado y el resultado real, congruencia entre formas esperadas de error y resultado); (c) detección a partir de una limitación funcional externa; (d) detección del error por un agente externo. Cada uno de estos mecanismos de detección funcionaría mejor para un tipo específico de errores, según la taxonomía de Reason, que considera los errores como originados en tres momentos: (a) Formulación de la intención y planeación de la acción; (b) Almacenamiento de la información; y (c) Ejecución de la acción (Reason, 1990).

### ***Modelo de detección del conflicto.***

Otra manera de detectar si se ha cometido un error sería a través de la monitorización del conflicto entre respuestas (Carter & van Veen, 2007). Cuando existen dos o más respuestas preponderantes, hay un conflicto continuo que puede resolverse una vez que se ha respondido, esto es, la respuesta correcta podría activarse después de que la respuesta

errónea ha sido producida. Un ejemplo clásico estaría dado por la tarea de Stroop, en la que se debe favorecer una respuesta no predominante (e.g. denominar el color de la tinta) por encima de una respuesta preponderante y automática (e.g. la lectura).

La porción anterior de la corteza cingulada sería sensible al conflicto en las respuestas, es decir, la coactivación de respuestas mutuamente incompatibles (Yeung, Botvinick & Cohen, 2004) y su función podría ser involucrar a la corteza frontal dorsolateral en la resolución de los conflictos (Carter & van Veen, 2007). Según este modelo, la N2 que suele acompañar a los ensayos correctos (y que algunos autores han descrito como negatividad relacionada con respuestas correctas, o CRN) reflejaría el conflicto que se ha producido al responder.

### ***Modelo de reforzamiento.***

Este modelo sugiere que la corteza cingulada anterior (CCA), cuya activación se refleja en los componentes neurofisiológicos asociados con el error y en los estudios de imagen, forma parte de la red de aprendizaje a partir de reforzamiento (Ridderinkhof et al., 2004). Este sistema, más que detectar si se está cometiendo un error, detectaría si el resultado de la respuesta fue “peor de lo esperado”, es decir, respondería a la ausencia de un reforzamiento externo. Estas estructuras recibirían información del sistema dopamínico mesocortical a través de cambios fásicos en la actividad aferente dopaminérgica (Holroyd & Coles, 2002; Holroyd, Larsen & Cohen, 2004), y a partir de esta información se regularía el desempeño en las tareas (Ridderinkhof et al.). En otras palabras, Holroyd y Coles postulan que cuando se comete un error el sistema dopamínico a nivel del mesencéfalo lleva una señal negativa de reforzamiento a la corteza frontal, en donde se generaría una negatividad relacionada con el error (o ERN) al desinhibirse las dendritas apicales de las neuronas motrices en la corteza anterior cingulada (CCA). Las señales de error se usarían para entrenar a la CCA, asegurando que el control sobre el sistema motor se daría a las estructuras más aptas para la tarea a la que el sujeto se enfrenta.

Los tres modelos que se han citado no necesariamente son excluyentes. Los autores que inicialmente propusieron cada uno han ido retomando elementos de los otros y es probable que en no mucho tiempo se cuente con una teoría más amplia que explique los datos empíricos disponibles.

## **Aspectos Neurofisiológicos del Procesamiento de Retroalimentación (PR)**

Toda acción que realizamos depende de un complejo sistema en el que participan componentes eferentes (motores) y aferentes (sensoriales). En otras palabras, las acciones que llevamos a cabo involucran sistemas de retroalimentación a distintos niveles. Un ejemplo de esto lo constituye el habla: la ejecución de movimientos precisos y complejos en el aparato fonoarticulador depende de que se envíen las órdenes adecuadas a los músculos necesarios, pero también que a distintos niveles se envíen señales de regreso al sistema central que informen de qué manera se están ejecutando las órdenes.

El proceso de retroalimentación se puede dar a distintos niveles: desde un nivel superior en el que la formación de programas motores sea regulada antes de su ejecución a partir de un plan de acción, hasta una retroalimentación que se dé en el contexto interpersonal, cuando alguien más nos da información sobre la adecuación de nuestro desempeño.

Se han estudiado distintos sistemas que permiten el PR, entre otras razones porque en diversos padecimientos que afectan al sistema nervioso central pareciera haber un PR deficiente detrás de algunos síntomas que afectan el desempeño. Nuestra investigación se orienta al estudio de los correlatos neurofisiológicos del PR a partir de errores propios o ajenos, considerando que el procesamiento de errores ajenos constituye una de las bases del aprendizaje observacional, el cual puede constituir la base de diversos programas de intervención en pacientes con distintas patologías.

### **Desarrollo del procesamiento de retroalimentación (PR).**

Dos mecanismos de regulación conductual que hemos descrito, la monitorización del error (ME) y el procesamiento de la retroalimentación (PR) dependen de estructuras neuronales cuyo proceso de maduración incluye al menos las primeras dos décadas de vida. En particular, los lóbulos frontales han sido descritos como estructuras en las que el proceso de mielinización es especialmente largo. Diversos estudios han abordado este desarrollo tanto en niños (e.g. Santesso, Segalowitz & Schmidt, 2005) como en adolescentes (Zottoli & Gose Fifer, 2012) y adultos mayores (Bettcher & Giovannetti, 2009).



Otro estudio de Eppinger et al. (2009) reportó diferencias en los componentes ERN y FRN al comparar niños con adultos: mientras en los adultos había cambios en función de la validez de la retroalimentación, los niños eran menos sensibles a ella además de mostrar FRNs de mayor amplitud que en los adultos, lo cual sugiere una mayor importancia funcional para la retroalimentación en las etapas tempranas del desarrollo. Por su parte, Hämmerer, Li, Müller y Lindenberger (2011) realizaron un estudio abarcando desde niños hasta ancianos y encontraron varios datos: la amplitud de la FRN disminuye con la edad, tanto niños como adultos mayores muestran FRN menos discriminativas entre aciertos y errores, aprenden mejor de la retroalimentación negativa y necesitan más ensayos para aprender. En conjunto, la literatura sugiere que los mecanismos para el procesamiento de la retroalimentación se establecen antes de la adolescencia y que a partir de allí, las diferencias individuales son más responsables de la variabilidad observada.

### **Bases anatomofisiológicas del procesamiento de la retroalimentación.**

El estudio de la monitorización del desempeño y de las estructuras del sistema nervioso y los procesos fisiológicos subyacentes ha tenido un auge en las últimas décadas gracias en parte al desarrollo de métodos no invasivos como los estudios de imagen y los psicofisiológicos. Estudios como la resonancia magnética funcional han permitido obtener imágenes con una gran resolución espacial y una buena resolución temporal que han mostrado cuáles son las estructuras del cerebro que se encuentran activas durante estos procesos. Por otra parte, los estudios de PREs, si bien no ofrecen una gran resolución espacial, sí tienen una resolución temporal que ayuda a saber en qué momento se está llevando a cabo el trabajo por distintas estructuras (Bartholow & Amodio, 2009; Dhar, Wiersema & Pourtois, 2011).

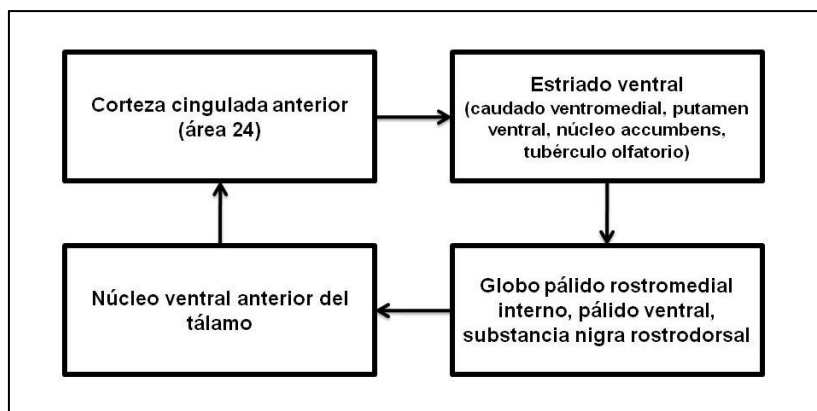
Los resultados obtenidos a partir de ambas aproximaciones apuntan a que la fluidez aparente del control del comportamiento se logra a través de un trabajo coordinado de distintas áreas corticales, sin que necesariamente haya un controlador central (Garavan, Ross, Murphy, Roche & Stein, 2002). Según estos estudios, las respuestas rápidas dependen de la corteza prefrontal dorsolateral derecha y la CCA, el procesamiento de errores y/o conflictos depende de estructuras mediales (como la CCA y la corteza motriz suplementaria), y el mantenimiento de las tareas depende de áreas prefrontales

dorsolaterales (Garavan et al.). De manera específica, se ha encontrado que la porción más rostral de la CCA está relacionada con la evaluación rápida de respuestas erróneas (Swick & Turken, 2002), aunque otros autores proponen que más bien se relaciona con una función evaluativa para el ajuste comportamental inmediato cuyo fin sería evitar pérdidas (Magno, Foxe, Molholm, Robertson & Garavan, 2006).

En esta línea, los lóbulos frontales serían responsables tanto de la comisión de errores como de su detección a través de la evaluación de los resultados (Blavier et al., 2005), aunque diferentes componentes del proceso cognitivo podrían estar asociados con distintas estructuras: como se mencionó arriba, existe una discusión abierta sobre los mecanismos subyacentes a la regulación del desempeño a través de los errores. Al menos un estudio ha tratado de hacer la distinción no en términos de cuál proceso explica los hallazgos conductuales y electrofisiológicos, sino en qué medida esos distintos procesos tienen lugar a partir de distintas estructuras cuyo papel en el proceso hasta el momento no estaba claro (Swick & Turken, 2002). Haremos una breve reseña de algunos estudios en este campo y sus implicaciones para la teoría.

### ***Estudios de imagen.***

Los lóbulos frontales influyen en el funcionamiento del resto de la corteza en buena parte gracias a los circuitos que establecen con estructuras subcorticales como el tálamo y los ganglios basales. Uno de los circuitos que más se ha asociado con el control en el desempeño es el circuito cingulado anterior (e.g. Passingham, Bengtsson & Lau, 2010).



**Figura 1.** Esquema del circuito cingulado anterior. (adaptado de Tekin & Cummings, 2002)

El circuito cingulado anterior (ver Figura 1) se origina en la corteza cingulada anterior (CCA), área 24 de Brodmann) y proyecta al estriado ventral, de allí a la porción rostromedial del globo pálido, luego al tálamo y finalmente de regreso a la CCA. Del estriado ventral hay proyecciones hacia los globos pálidos y la sustancia negra, cuyas eferencias alcanzan el área tegmental ventral, la habénula, el hipotálamo, la amígdala y el núcleo dorsomedial del tálamo, completando el circuito (Tekin & Cummins, 2002). La porción caudal de la corteza frontal medial estaría relacionada con las acciones, en tanto la corteza más orbital se asocia a los resultados (Amodio & Frith, 2006).

En un estudio realizado por Garavan et al. (2002), los errores en una tarea go/no-go se asociaban con la activación medial que incluía la CCA, en tanto que las alteraciones comportamentales posteriores al error (Rabbitt & Rodgers, 1977) se asociaban a la CCA y la corteza izquierda prefrontal. Se ha propuesto que con el aprendizaje, la corteza prefrontal medial podría llegar a predecir la posibilidad de cometer errores al reconocer pistas predictivas de tasas altas de errores, pero esta hipótesis no ha encontrado apoyo en estudios recientes (e.g. Nieuwenhuis, Schweizer, Mars, Botvinick & Hajcak, 2007).

El sistema para la detección de errores comparte estructuras parcialmente con regiones del cerebro que están involucradas en la competencia e inhibición de respuestas: en un estudio realizado por Menon, Adelman, White, Glover y Reiss (2001) se encontró que la porción rostral de la CCA, la corteza cingulada posterior y las cortezas insulares anteriores derecha e izquierda se activaban sólo durante el procesamiento de errores, pero no en la competencia, inhibición, selección o ejecución de respuestas. Esta actividad a nivel insular podría estar relacionada con las respuestas autonómicas que se asocian con los errores percibidos conscientemente (Ullsperger, Harsay, Wessel & Ridderinkhof, 2010).

Se ha sugerido que el papel de la CCA radica en el señalamiento de la ocurrencia de conflictos en el procesamiento de información, activando ajustes compensatorios en el control cognitivo (Botvinick et al., 2004; Magno et al., 2006). No obstante, es importante considerar que si bien la actividad registrada en este tipo de tareas puede estar vinculada a estas regiones, en realidad éstas forman parte de amplios circuitos (como el de Papez) y es muy probable que los cambios que en ellas se observan sean consecuencia de procesamiento más amplio que incluye a otras estructuras (Luu, Tucker, Derryberry, Reed & Poulsen, 2003).

El efecto de la retroalimentación después de cometer errores fue analizado por Ullsperger y von Cramon (2003), quienes en un estudio realizado con resonancia magnética funcional encontraron que la retroalimentación positiva activaba el estriado ventral (núcleo accumbens) en tanto la negativa hacía lo propio con el área motriz cingulada rostral, la ínsula anteroinferior y el epitálamo.

En lo que respecta a la distinción entre estructuras relacionadas con los errores propios y los ajenos, Shane, Stevens, Harenski y Kiehl (2009) identificaron en un estudio reciente áreas relacionadas con la observación de los errores cometidos por otros: en particular la porción rostral/ventral de la CCA y la Corteza Parietal Inferior (CPI); aparentemente, la CPI serviría para distinguir las acciones propias de las ajenas, y la CCA permitiría una comprensión mediada por el contexto de los errores cometidos por los otros. En este sentido, otros estudios han mostrado activaciones similares ante los errores propios y ajenos, sugiriendo que se utilizarían los mismos mecanismos para evaluar el desempeño propio y el ajeno (Shane et al., 2008; Yu & Zhou, 2006b)

Uddin, Iacoboni, Lange y Keenan (2007) han propuesto que las áreas de neuronas espejo frontoparietales constituyen la base para la conjunción de información propia y ajena a través de mecanismos de estimulación motriz, en tanto que las estructuras de la línea media procesan información acerca de sí mismo y de los otros de una manera más abstracta y evaluativa. La corteza medial prefrontal aparentemente media los procesos metacognitivos que pueden ser usados para autoevaluaciones directas y reflejadas en función de las demandas de una tarea específica (Ochsner et al., 2005).

### ***Potenciales relacionados con eventos (PREs).***

Psicológicamente, los Potenciales relacionados con eventos (PREs) representan manifestaciones neuronales de actividades específicas de procesamiento de información asociadas con un estímulo o una respuesta (Bartholow & Amodio, 2009; Gehring et al., 1993). El análisis de los PREs que acompañan a los errores da evidencia de un proceso neural cuya actividad está específicamente asociada con la monitorización y la compensación del comportamiento erróneo (Gehring et al.). Se han estudiado cuatro componentes como vinculados a la monitorización de errores: la Negatividad relacionada con el error (ERN o Ne), la Positividad relacionada con el error (Pe) y dos componentes

vinculados a la retroalimentación: la Negatividad Relacionada con la Retroalimentación o Feedback Related Negativity (FRN) y el P300 asociado con la retroalimentación (fP300). A pesar de que en la práctica estos componentes pueden ser tratados como reflejo del procesamiento del error, no hay consenso entre los investigadores sobre si realmente hay un proceso común subyacente o en realidad tanto los procesos cognitivos como la base anatomofisiológica de éstos son distintos, pero los instrumentos de los que disponemos no han dejado claras esas diferencias (Simons, 2010). Según algunos autores, el poder explicativo de componentes como la Pe ha sido subestimado, ya que este componente podría reflejar de manera más pura que los otros la detección de error, sin sus consecuencias o aspectos motivacionales (Steinhauser & Yeung, 2011). A continuación describimos algunos de los hallazgos más relevantes para nuestro presente estudio.

*Negatividad relacionada con la retroalimentación (Feedback related negativity, FRN).*

Uno de los componentes más estudiados es la negatividad relacionada con la retroalimentación, la *Feedback Related Negativity* o FRN (Bellebaum, Kobza, Thiele & Daum, 2010; Hajcak, Moser, Holroyd & Simons, 2006; Yu & Zhou, 2006a). Inicialmente descrito por Miltner, Braun y Coles (1997), este componente parece diferenciar la retroalimentación negativa de la positiva, reflejando una interacción compleja entre información relacionada con acciones pasadas y presentes, pensamientos y emociones (Moser & Simons, 2009). De particular relevancia para el estudio que proponemos, se ha mostrado que la FRN puede aparecer a partir de retroalimentación que no se da en función de acciones recientes (Yeung, Holroyd & Cohen, 2005).

En el estudio original de Miltner et al. (1997) se utilizó una tarea de estimación temporal y se encontró que después de la retroalimentación había una respuesta electrofisiológica caracterizada por una negatividad en la línea media que comenzaba alrededor de 250ms después de la retroalimentación. Estudios posteriores, como el de Gehring y Willoughby (2004) muestran que si bien la FRN es mayor para las pérdidas que para las ganancias (en una tarea de apuestas), su amplitud no depende de la magnitud de éstas. Se ha mostrado también que la FRN aparece en la medida en que la retroalimentación proporciona

información nueva y relevante sobre el desempeño, lo cual vincula su aparición con la información de procesos de monitorización interna (Heldmann, Rüsseler & Münte, 2008).

En la mayoría de los estudios sobre la FRN se ha utilizado una retroalimentación contingente, es decir, dependiente del desempeño que el sujeto está teniendo. No obstante, algunos estudios han mostrado que se puede obtener una FRN aún cuando el sujeto no está emitiendo una respuesta o haciendo una elección (Yeung et al., 2005).

### *P300 relacionado con la retroalimentación (Feedback Related P300, fP300).*

Otro componente cuya relación con el monitoreo de errores ha sido estudiado recientemente es el P300 que aparece a partir de una señal que informa al sujeto sobre el desempeño correcto o incorrecto en una tarea, por lo que se le ha llamado P300 relacionado con la retroalimentación o *fP300*. Originalmente, el P300 fue asociado con un proceso que Donchin llamó “actualización del contexto” o actualización de la representación del entorno (Luck, 2005). Según el modelo propuesto por Polich (2007), el P300 comprende un proceso atencional temprano que se origina de un cambio representacional en la memoria de trabajo frontal y produce el componente P3a, para que después esta señal sea transmitida a estructuras temporales y parietales relacionadas con el componente P3b.

Las similitudes entre el componente P300 cuya amplitud varía con la frecuencia de un estímulo y un componente positivo asociado con la comisión de errores con latencia similar (*fP300*) fueron estudiadas por Ridderinkhof, Ramautar y Wijnen (2009). Estos autores proponen que ambos componentes reflejan procesos neuronales similares dado que comparten el procesamiento de eventos motivacionalmente significativos. También se ha encontrado que su amplitud varía en relación con el nivel de empatía de los sujetos (Bäuchl, 2010) y en un experimento en el que se comparaba la retroalimentación dada sobre el desempeño propio y el ajeno, se encontró que la amplitud del *fP300* variaba en función de la valencia de la retroalimentación y de la relación interpersonal entre el observador y quien realizaba la tarea (Leng & Zhou, 2010; Wu, Leliveld & Zhou, 2011).

Un estudio de Gray, Ambady, Lowenthal y Deldin (2004) mostró que información propia y de personas cercanas producía una *fP300* de mayor amplitud, en tanto que el estudio de Bäuchl (2010) encontró que el *fP300* que aparecía en presencia de pérdidas monetarias tenía una amplitud que variaba en función de a quién se atribuían tales pérdidas

(propias, de alguien cercano, de un desconocido), además de que su amplitud correlacionaba positivamente con la puntuación en una escala de empatía.

### **Alteraciones en el procesamiento de la retroalimentación.**

Tanto la autorregulación en general como la ME en particular se relacionan con estructuras cerebrales específicas, por lo que las lesiones que involucran a estos sistemas suelen disminuir las capacidades de la persona para detectar los errores en su propio desempeño. Las alteraciones pueden ocurrir tanto en el desarrollo como es el caso del trastorno por déficit de atención (e.g. Wiersema, van der Meere & Roeyers, 2009), autismo (Sokhadze et al., 2010), el síndrome de Tourette (Eichele et al., 2010), en las enfermedades psiquiátricas (e.g. Brazil et al., 2011; Menon et al., 2001), en las lesiones cerebrales (e.g. Vuilleumier, 2004), en los trastornos degenerativos (e.g. Falkenstein et al., 2001), o incluso en abuso de sustancias (e.g. Sokhadze, Stewart, Hollifield & Tasman, 2008) y en adultos disléxicos (e.g. Horowitz-Kraus & Breznitz, 2009).

Las alteraciones metacognitivas debidas a lesiones frontales pueden incluir una sobreestimación de las capacidades propias, falta de conciencia de los déficits adquiridos, incapacidad para aprender de la experiencia y pobre utilización de la retroalimentación para modificar las estrategias de resolución de problemas (Eslinger, 2008).

A partir de una mejor comprensión de los mecanismos que subyacen a la monitorización de los errores en el desempeño, se pueden diseñar mejores programas de intervención para sujetos de las poblaciones que se han descrito (e.g. Ownsworth et al., 2000). Se cuenta ya sobre todo con estudios de caso y algunos estudios de grupo en los que se ha demostrado que intervenciones orientadas a la mejora en la metacognición tienen un efecto favorable en la ME y el desempeño en general de personas con lesiones cerebrales. Carter y Van Veen (2007) han sugerido que algunas alteraciones de la cognición y el comportamiento, como la esquizofrenia y el trastorno obsesivo compulsivo podrían ser comprendidos como el resultado de funciones de monitorización del desempeño alteradas.

### **Procesamiento Vicario y No Contingente del Error**

En las últimas dos décadas se han realizado numerosos estudios en los que la monitorización del error ha sido abordada a partir de errores ajenos. El aprendizaje

observacional tiene en parte como base la detección de los errores cometidos por otros y la observación de las estrategias que se ponen en marcha para su corrección. En el plano conductual, un estudio de Nuñez Castellar, Notabaert, van den Bossche y Fias (2011) mostró que los tiempos de reacción en una tarea tipo Flanker se modifican cuando los participantes responden a la tarea y observan a otros respondiendo (que pueden ser una computadora o un participante real), en función de la manera en que observadores y observados interactúan (cooperación o competencia). Ver a alguien que ejecuta una tarea no sólo modifica el funcionamiento del sistema de detección de errores en quien observa, sino que también tiene efectos sobre aquel que es observado: en un estudio que utilizó resonancia magnética (Radke, de Lange, Ullsperger & de Bruijn, 2011) se encontró que cuando un participante cometía errores que sólo afectaban a sí mismo, la activación predominante se daba a nivel de la corteza frontal medial posterior, en tanto que si los errores afectaban a los otros, se producía una activación específica de la corteza prefrontal medial.

Por otra parte, estudios recientes también han intentado obtener los componentes neurofisiológicos asociados con el procesamiento del error de manera no contingente, es decir, no vinculados de manera inmediata al desempeño. En este sentido, la FRN ha sido ya estudiada con retroalimentación no vinculada a una respuesta: Donkers, Nieuwenhuis y van Boxtel (2005) realizaron un experimento de apuestas en el que obtuvieron una negatividad mediofrontal similar a la FRN, con voltajes más negativos para las pérdidas que para las ganancias, correlacionando con los aciertos y errores en una tarea de estimación temporal.

### **Neurofisiología de la empatía.**

Entendemos por empatía la respuesta emocional que procede de la comprensión del estado o situación de otra persona y es similar a lo que la otra persona está sintiendo (Eisenberg, 2000). En otras palabras, la respuesta empática implica comprender al otro y ponerse en su lugar (a partir de lo que se observa, o se accede por medio del lenguaje o la memoria) y reaccionar en el plano afectivo (Mestre Escrivá, Frías Navarro & Samper García, 2004).

Se ha propuesto que el PR y la empatía podrían tener como base el sistema de neuronas espejo (Gallese, Keysers & Rizzolatti, 2004), una red de áreas premotoras y parietales que



se activan cuando vemos a alguien ejecutar una acción y también cuando nosotros ejecutamos una acción similar. El componente afectivo de la empatía ha sido vinculado a regiones como el giro frontal inferior, lóbulo parietal inferior, porción anterior de la ínsula y la corteza cingulada anterior (CCA) (Shamay-Tsoory, 2011). Al menos una de estas regiones (la CCA) es la más consistentemente reportada como fuente de los componentes relacionados tanto con la comisión de errores (ERN) como con el procesamiento de la retroalimentación (FRN). Esto apoya la propuesta de que el sistema para el aprendizaje observacional y la empatía comparten estructuras y muy probablemente procesos cognitivos. Una revisión reciente sobre las relaciones entre empatía y los componentes electrofisiológicos relacionados con la monitorización del desempeño puede encontrarse en Thoma y Bellebaum (2012).

### **Distancia social.**

Diversos experimentos en los que se evalúa la detección observacional de errores han considerado como variable la cercanía entre los sujetos. En algunos casos, se contrasta a los sujetos conocidos con extraños, e incluso en otros se compara a sujetos “reales” con el desempeño de una computadora. En un estudio reciente realizado por Wu, Leliveld y Zhou (2011) los participantes recibían propuestas en el juego del dictador que podían ser justas o injustas y eran atribuidas a personas socialmente cercanas o distantes; se encontró que una negatividad mediofrontal (NMF) se asociaba con una violación de las expectativas (ofertas injustas hechas por alguien socialmente cercano, pero no las hechas por un extraño), en tanto que un P300 mostraba mayor amplitud cuando las ofertas eran justas, independientemente de a quién eran atribuidas.

### **Planteamiento del Problema**

Un conocimiento más amplio de los procesos cognitivos relacionados con el procesamiento de la retroalimentación (PR) nos permitirá ampliar la teoría subyacente al desarrollo de programas de intervención. Las dificultades en la monitorización del desempeño no son privativas de los pacientes con lesiones cerebrales evidentes, sino que aparecen también en trastornos congénitos como los del espectro autista, en cuadros clínicos como la esquizofrenia, en trastornos del desarrollo como el de déficit de atención

(TDAH) y en trastornos degenerativos como la enfermedad de Alzheimer. El componente de la monitorización del desempeño en el que nos enfocamos es el PR.

El alcance del presente estudio se plantea en principio en el conocimiento de los correlatos neurofisiológicos (variables relacionadas con los PREs) en dos situaciones específicas: el procesamiento de la retroalimentación relacionada con errores propios y la relacionada con los errores ajenos, y su relación con la empatía. Si bien una cantidad importante de estudios recientes ha abordado el estudio de la respuesta fisiológica a los errores cometidos por alguien más (e.g. Carp et al., 2009; Kang, Hirsh & Chasteen, 2010; Koban, Pourtois, Vocat & Vuilleumier, 2010; Miltner, Brauer, Hecht, Trippe & Coles, 2004) el tema está lejos de ser agotado.

Los estudios orientados al procesamiento de retroalimentación a partir del desempeño propio o ajeno han estado enfocados a analizar las diferencias entre las dos condiciones, pero poco se ha hecho para buscar correlaciones entre las variables en las que hay diferencias y otros indicadores, como el nivel de empatía de las personas o el nivel de cercanía entre los participantes. Una característica de los estudios previos es el uso de tareas que son esencialmente perceptuales o atencionales; en el presente estudio se propone el uso de una tarea de formación de categorías a partir de reglas que es más compleja que las que se han usado antes en este tipo de diseños (para una revisión amplia sobre las bases neurocognitivas de la formación de categorías, ver Seger & Miller, 2010).

Los resultados obtenidos en el presente estudio contribuirán a la discusión sobre los procesos cognitivos subyacentes a los indicadores electrofisiológicos, lo cual puede ayudar a contar con más elementos teóricos para un mejor diseño de programas de intervención y estrategias de remediación que si bien pueden estar inicialmente dirigidas a los pacientes con lesiones cerebrales, también pueden tener aplicaciones para trastornos como los que se mencionan arriba o incluso en el campo pedagógico.

### **Objetivos.**

Caracterizar las diferencias tanto en la FRN como en el fP300 en el procesamiento de retroalimentación que informa de manera no contingente sobre errores y aciertos en una tarea previamente realizada.

Caracterizar las diferencias tanto en la FRN como en el fP300 en el procesamiento de retroalimentación atribuida a desempeño propio, y a personas calificadas como socialmente cercanas o distantes dentro del grupo al que se pertenece.

Caracterizar las diferencias tanto en la FRN como en el fP300 entre participantes clasificados como con alta o baja empatía en las subescalas del IRI.

### **Preguntas de investigación e hipótesis.**

A partir de los objetivos establecidos arriba, consideramos las siguientes tres preguntas de investigación como guía del presente trabajo. Cada una de las preguntas se refiere a los dos componentes asociados con el procesamiento de retroalimentación que de manera más consistente se analizan en la literatura: la FRN y el fP300.

1. ¿Existen diferencias en la amplitud de los componentes vinculados a la retroalimentación que informa sobre aciertos o errores en una tarea previamente respondida?

**H0.** La amplitud de los componentes no varía en función de la valencia de la retroalimentación que informa sobre aciertos o errores en una tarea respondida previamente.

**H1.** La amplitud de los componentes varía en función de la valencia de la retroalimentación que informa sobre aciertos o errores en una tarea respondida previamente.

2. ¿Existen diferencias en la amplitud de la FRN y el fP300 vinculados a la retroalimentación atribuida al desempeño propio en comparación con la atribuida al desempeño de personas socialmente cercanas o distantes?

**H0.** La amplitud de los componentes no varía en función del agente a quien se atribuye la retroalimentación de una tarea respondida previamente.

**H1.** La amplitud de los componentes varía en función del agente a quien se atribuye la retroalimentación de una tarea respondida previamente.

3. ¿Existen diferencias en la amplitud de los componentes vinculados a la retroalimentación al comparar personas con alta o baja empatía en las subescalas del IRI?

**H0.** La amplitud de los componentes no es distinta al comparar personas clasificadas como con alta o baja empatía en las subescalas del IRI.

**H1.** La amplitud de los componentes es distinta al comparar personas clasificadas como con alta o baja empatía en las subescalas del IRI.

## Métodos

### Participantes

Se utilizó un diseño de medidas repetidas con 23 adultos jóvenes sanos (14 mujeres), edad promedio=19.5 años (DE=0.67) que participaron de manera voluntaria en el estudio. Todos eran estudiantes del segundo año de psicología en una universidad pública. Los participantes fueron reclutados a través de una invitación en la cual la información sobre el experimento fue mantenida al mínimo: se les invitó a participar en un experimento que implicaba dos sesiones, una para responder a una tarea sencilla en la computadora y otra para responder a una tarea parecida, con registro electroencefalográfico simultáneo. Si bien en la consigna de la segunda sesión se les decía que habría un pago cuyo monto dependía de su desempeño, a todos se les pagaron \$150 pesos por su participación en las dos sesiones experimentales. La naturaleza del experimento fue explicada al concluir la segunda sesión.

**Criterios de inclusión:** edad entre 18 y 22 años, nivel escolar superior, audición normal, visión normal o corregida.

**Criterios de no inclusión:** antecedentes de padecimientos neurológicos o psiquiátricos.

**Criterios de exclusión:** abandonar el experimento antes de haber concluido la segunda sesión, manifestar haber dudado sobre la veracidad de los ensayos durante el registro electroencefalográfico de la Tarea 2.

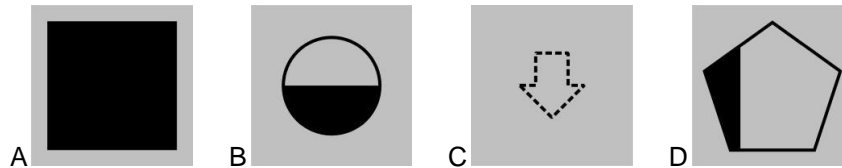
### Instrumentos

Para el experimento se utilizaron dos tareas experimentales, y dos instrumentos escritos: (a) una tarea computarizada de categorización a partir de reglas que se usó esencialmente para obtener un número suficiente de ensayos distintos entre sí con errores y aciertos que serían utilizados durante el registro electroencefalográfico; (b) una tarea computarizada en la que se revisaba el desempeño tenido en la primera tarea, en bloques atribuidos a distintos

agentes, con registro electroencefalográfico simultáneo; (c) el Inventario de Reactividad Interpersonal (I.R.I), y (d) Un cuestionario para estimar la distancia social dentro del grupo.

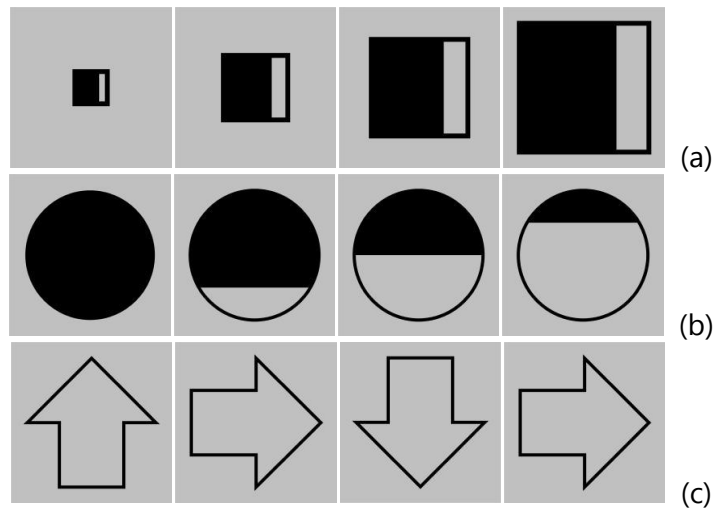
### **Tarea 1. Categorización a partir de reglas.**

Se diseñó una tarea en E-prime 2.0 (Psychology Software Tools, Inc. 2013, USA) y se aplicó en un cubículo en condiciones constantes de iluminación y ruido. Se utilizó una computadora laptop para la presentación del experimento y los sujetos se situaron a 60 cm. de la pantalla. Las imágenes utilizadas para la tarea fueron de 200 x 200 pixeles (5.2 x 5.2 cm.) en una pantalla de 1024 x 768 pixeles (se pueden ver ejemplos en las figuras 2 y 3). Las series de estímulos se presentaron de manera aleatorizada, en bloques contrabalanceados. La Figura 4 muestra la estructura de los ensayos.

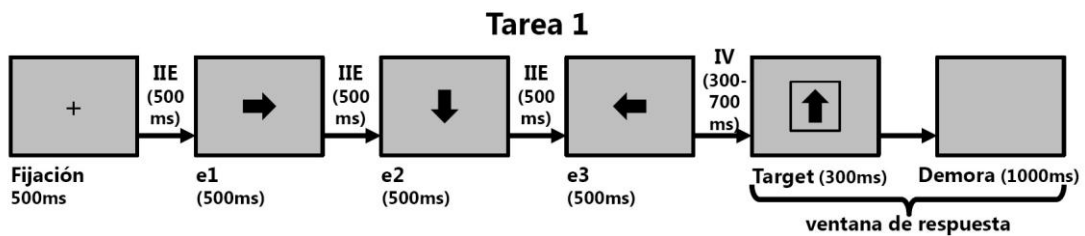


**Figura 2.** Ejemplos de las imágenes elaboradas para el experimento. A) Cuadrado al 100% de tamaño, con 100% de relleno; B) Círculo al 75% de tamaño, con 50% de relleno en la parte inferior; C) Flecha hacia el sur, al 50% de tamaño, con 0% relleno y línea punteada; D) Pentágono al 100% de tamaño, con 25% de relleno en la parte izquierda.

La tarea contenía cuatro bloques de 30 ensayos cada uno. Cada ensayo estaba compuesto por una serie de cuatro imágenes mostradas de manera secuencial. Los participantes debían indicar, presionando un botón tan rápido como fuera posible, si la última imagen mostrada satisfacía o no el criterio establecido por las tres imágenes previas (ver parte superior de la figura 3). Se utilizaron figuras geométricas simples (flechas, cuadrados, círculos, rectángulos y pentágonos). En la mitad de los ensayos, sólo una variable definía la serie (e.g. cuadrados de tamaño creciente, flechas girando en un sentido); en la otra mitad de los ensayos, dos variables fueron manipuladas de manera simultánea (e.g. cuadrados con la mitad de relleno que disminuían de tamaño en tanto giraban en un sentido). Los criterios utilizados para establecer las series pueden verse en la Tabla 1. El orden de presentación de los ensayos fue aleatorizado.



**Figura 3.** Ejemplos de los estímulos utilizados en diferentes series con presentación secuencial. En (a) y (b) el último estímulo continúa la serie establecida por los primeros; no ocurre así en (c).



**Figura 4.** Secuencia de eventos para cada ensayo de la Tarea 1. Ante el target, el sujeto debe decidir si la imagen continúa la secuencia establecida por las tres primeras o no. IIE=Intervalo Interestímulo; e1, e2, e3= imágenes que forman la secuencia; IV=Intervalo variable.

**Tabla 1.** Variables utilizadas para la elaboración de las series de 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

La instrucción era la siguiente:

*Esta tarea está dividida en cuatro bloques y cada uno dura aproximadamente tres minutos. En cada uno de los ensayos 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.*

Al inicio de la tarea se administró un bloque con diez ensayos de práctica (con retroalimentación); en este bloque, después de cada ensayo se aclaraba con el participante por qué había respondido correcta o incorrectamente, de tal manera que al finalizar la práctica todos los participantes tuvieran suficientemente clara la tarea. Aparte de la instrucción principal y el bloque de práctica, los participantes no recibieron otra información sobre cómo responder a la tarea. El procedimiento de diseño de esta tarea y sus características han sido ya reportados (Villuendas González & González Garrido, 2013).

## **Tarea 2. Revisión pasiva del desempeño.**

Esta tarea se componía de seis bloques -divididos en tres pares, por tiempos de descanso- de 30 ensayos cada uno, y fue administrada mientras se registraba el EEG. Se instruyó a los participantes a revisar de manera pasiva (sin responder) su desempeño en la Tarea 1 (ver arriba). Antes de comenzar con el proceso de revisión de cada par de bloques, se informaba a los participantes el nombre de la persona de cuyo desempeño se habían extraído los ensayos. Los agentes podían ser tres (dos bloques para cada uno): (a) el participante mismo, (b) dos compañeros a quienes había clasificado como socialmente cercanos en el cuestionario de distancia social, (c) dos compañeros a quienes había clasificado como socialmente distantes en el cuestionario de distancia social. El orden de presentación de los bloques fue distinto por sujeto para contrabalancear el orden de las condiciones. Dado que en esta tarea los participantes no emitían una respuesta, se utilizaron bloques con una tarea simple de apuesta de dos opciones entre los pares de bloques para

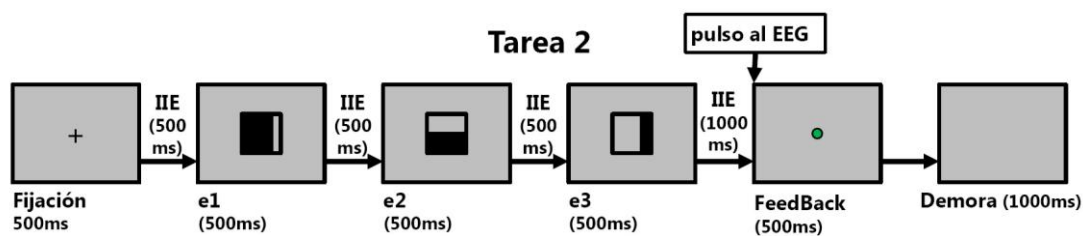


mantener el nivel de atención y alerta durante la sesión. Cada ensayo tenía una estructura similar a la de la Tarea 1, pero la última imagen era reemplazada con un punto de color que actuaba como retroalimentación sobre el desempeño, indicando un error (rojo), una respuesta correcta (verde) o retroalimentación no informativa (gris) (ver la figura 5). Los pulsos para la selección de ventanas para PREs estaban encadenados a la presentación de la retroalimentación. La instrucción era como sigue:

*En este experimento revisarás tu desempeño y el de otras personas en la tarea de la sesión anterior. El experimento se divide en seis bloques y cada uno dura aproximadamente dos minutos y medio. En cada ensayo, verás una secuencia como las de la primera sesión, pero en lugar de la imagen a la que debías responder, verás un punto cuyo color indica si en ese ensayo particular se respondió bien o mal. Un punto verde indica que se respondió correctamente. Un punto rojo indica que la respuesta fue errónea. El punto gris no da información sobre cómo se respondió.*

*Cada bloque contiene ensayos de una persona distinta. Al inicio de cada bloque aparecerá el nombre de la persona a quien pertenecen esos ensayos. No debes responder nada, sólo poner atención a cómo fue el desempeño. Procura no parpadear cuando aparece el punto de color, ni inmediatamente después.*

*Al final de la sesión recibirás un pago de aproximadamente 150 pesos. La cantidad depende de qué tan bueno o malo haya sido tu desempeño en la tarea.*



**Figura 5.** Secuencia de eventos para cada ensayo de la Tarea 2. La duración de los elementos es la misma que en experimento 1, con excepción de la retroalimentación (500ms) El punto de color indica cómo se respondió a cada ensayo particular en la primera sesión; IIE= Intervalo interestímulo; e1,e2,e3: estímulos que forman la serie.

### **Inventario de Reactividad Interpersonal (I.R.I).**

El Inventario de Reactividad Interpersonal (I.R.I) de Davis (1980) es una de las escalas más utilizadas para la medición de la empatía. Consta de un cuestionario con 28 reactivos que consisten en afirmaciones a las que el sujeto responde en una escala tipo Likert en qué medida se siente descrito por ellas. Los reactivos se agrupan en cuatro subescalas: Fantasía, Toma de Perspectiva, Preocupación Empática y Malestar Personal. A cada una de las subescalas corresponden siete reactivos. Se considera que las dos primeras escalas reflejan el aspecto emocional de la empatía en tanto las dos últimas están relacionadas con el aspecto cognitivo. La versión en castellano (Mestre-Escrivá et al., 2004) puede consultarse en el apéndice.

### **Cuestionario para estimar la distancia social en el grupo.**

Para la estimación de la distancia social entre los miembros del grupo de participantes, utilizamos un cuestionario basado en el Social Networks Inventory (S.N.I.) de Treadwell, Leach y Stein (1983). El SNI es un instrumento que permite conocer qué personas con las que se relaciona el individuo son más cercanas y cuáles no lo son. En el instrumento original, el sujeto escribe los nombres de las personas con las que habitualmente se relaciona y después en una escala de 1 a 7 puntúa qué tan cercano se siente de estas personas. En la versión que utilizamos, elaboramos una lista con los nombres de los miembros del grupo escolar de los participantes, y la consigna fue similar: calificar en una escala de 1 a 7 a cada uno en función de qué tan cercanos se sienten de esa persona. Los puntajes de cada participante permitieron obtener una lista de personas que ellos consideraban como muy cercanas (puntajes de 1 y 2) o distantes (puntajes de 6 y 7). A partir de esas listas se seleccionaron los nombres a los cuales se atribuyó el desempeño de los bloques de la Tarea 2.

### **Procedimiento**

En la primera sesión experimental, los participantes respondieron dos instrumentos: la versión en español del Inventario de Reactividad Interpersonal (Mestre-Escrivá et al., 2004), y un cuestionario para medir la distancia social al interior del grupo (instrumentos descritos arriba). Además, los participantes completaron la Tarea 1 sentados en una

habitación con luz y sonido atenuados. Todos los participantes fueron adecuadamente entrenados antes de desempeñar la tarea con un bloque de práctica. Tanto la presentación de estímulos, como el registro de respuestas y la adquisición de datos estaban sincronizados y controlados con el software E-prime 2.0 (Psychology Software Tools). Las respuestas conductuales fueron registradas con una caja serial de respuestas del mismo fabricante.

Dos semanas después de la primera sesión, se llevó a cabo la segunda sesión para responder a la Tarea 2, que incluía un registro electroencefalográfico. Los sujetos respondieron en esta sesión en una habitación con sonido y luz atenuados. La tarea duraba aproximadamente 30 minutos más el tiempo para la colocación de los electrodos. Al concluir con la tarea, a los participantes se les dio una breve explicación de la naturaleza del experimento. Cuando durante la explicación el sujeto mencionó haber sospechado sobre la autenticidad del desempeño observado, los datos obtenidos fueron excluidos del análisis final. Se solicitó de los participantes que no compartieran ninguna información sobre el contenido de esa sesión con sus compañeros hasta que todos hubieran concluido el experimento (esta petición también estaba en el consentimiento informado).

### **Registro Electroencefalográfico**

Se realizó el registro electroencefalográfico de los sitios Fp1, Fp2, F7, F3, Fz, F4, F8, T3, C3, Cz, C4, T4, T5, P3, Pz, P4, T6, O1 y O2 a través de una gorra elástica (Electrocap International, Inc.). Se colocaron electrodos adicionales de 10 mm. de diámetro (Grass Type E5GH, Astro-Med, Inc.) para registro de electrooculograma de la región infraocular del ojo izquierdo y el canto exterior del ojo derecho. También se utilizaron electrodos en los oídos cortocircuitados como referencia. Las impedancias de los electrodos se mantuvieron por debajo de los 5k $\Omega$ , con una tasa de muestreo de 200 Hz. Las señales fueron amplificadas con un filtro pasabanda de 0.5 a 30Hz (punto de corte de 3 a 6 db) en un sistema MEDICID-04. Finalmente, los datos fueron filtrados fuera de línea con un filtro digital de 0.5 a 20Hz.

Se almacenaron los datos de cada ensayo para su promediación y análisis. Los grandes promedios individuales y grupales se construyeron para ventanas de 1000 ms. (200 ms. pre-estímulo). Las ventanas con artefacto fueron rechazadas a través de inspección visual. Los

ensayos libres de artefactos fueron usados para generar PREs individuales para cada condición. Veinte ventanas de 1000 ms. libres de artefacto) fueron obtenidas para cada condición por participante. Los 200 ms. pre-estímulo fueron usados para corrección de la línea base.

### **Consideraciones Éticas**

Se trata de un estudio no-invasivo, en el que los participantes no fueron sometidos a situaciones de estrés más intenso que el esperable si no participan en el experimento. Se elaboró un consentimiento informado que todos los participantes leyeron antes de participar en el estudio. A los participantes se les dio una remuneración económica de 150 pesos al concluir la segunda sesión. Al término de la participación en el estudio, todos los participantes recibieron una retroalimentación que incluía una explicación del experimento y de su desempeño. Este protocolo de investigación fue aprobado por el Comité de Ética del Instituto de Neurociencias (el documento correspondiente se encuentra en los anexos).

### **Análisis de Datos**

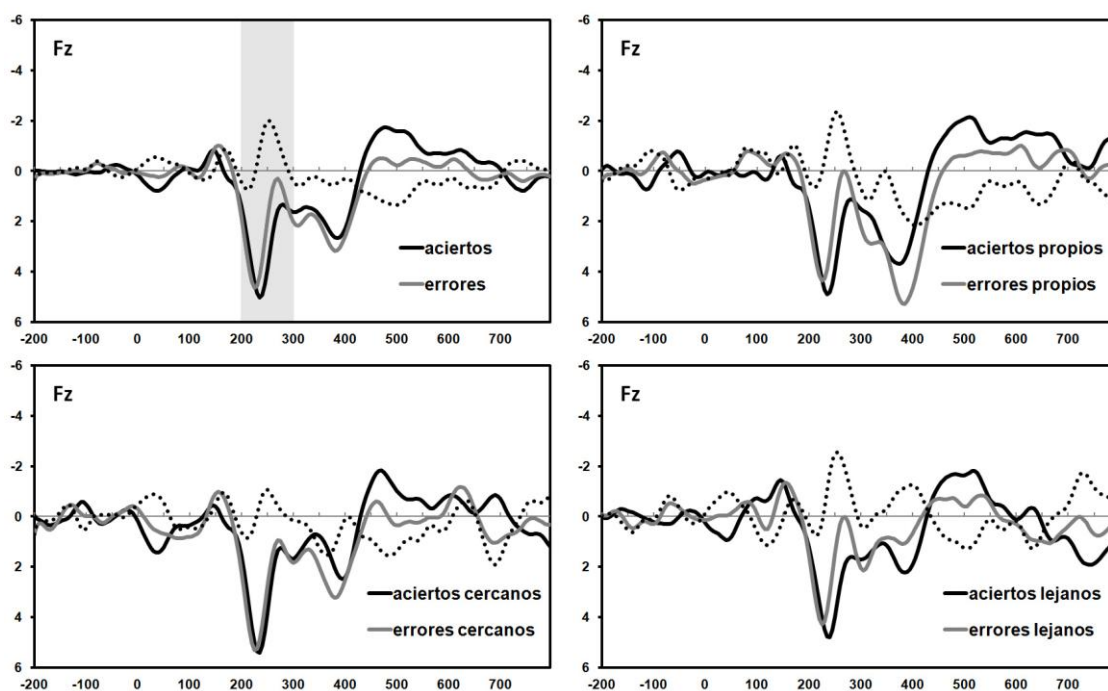
Tras la inspección de los PREs diferenciales obtenidos al restar la retroalimentación de los ensayos erróneos de los ensayos correctos, se identificó la FRN como un pico en la onda diferencial a los 250 ms. después de la retroalimentación, más prominente en Fz (ver figura 5). Por lo tanto, la FRN fue cuantificada como el voltaje promedio en la ventana de 200 a 300 ms. en Fz. Los gráficos de grandes promedios mostraron también un pico positivo que alcanzaba el máximo voltaje a los 350 ms. después de la retroalimentación, así que el fP300 fue cuantificado como el pico local<sup>1</sup> positivo en la ventana de 300 a 400 ms.,

---

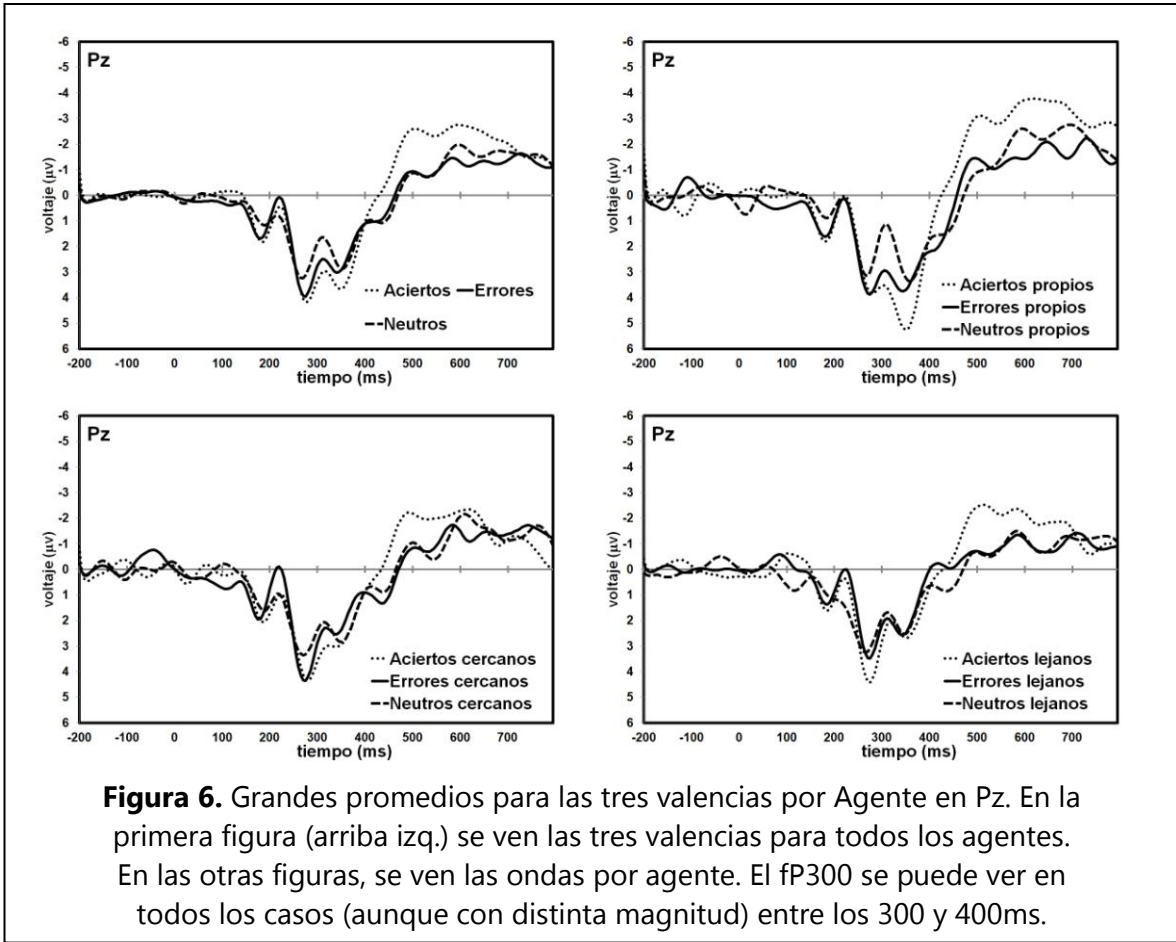
<sup>1</sup>A diferencia de los picos positivos simples que se obtienen con el voltaje máximo dentro de una ventana, los picos locales (Luck, 2005) son los máximos voltajes que están precedidos y sucedidos por al menos cuatro voltajes menores. Esto garantiza que en la extracción de voltajes no se den por máximos los voltajes que se encuentren en los extremos de la ventana y que pueden corresponder más bien a otros componentes. En los casos en los que en una ventana no se encuentra un pico, Luck (comentario personal, 21 de agosto, 2013) sugiere el uso de picos simples.

en Pz (ver figura 6). Para ambos componentes, se usaron análisis de varianza (ANOVA) de medidas repetidas con dos factores (3 valencias) x (3 agentes). Se utilizó la corrección de grados de libertad de Greenhouse-Geisser cuando fue necesario y se usaron correcciones de Bonferroni ( $\alpha=0.05$ ) para las comparaciones múltiples. Tanto los voltajes promedio en las ventanas como los picos locales fueron obtenidos de manera automatizada con una macro en Excel desarrollada en el Laboratorio de Neurofisiología Clínica (Villuendas González, 2012).

Los grandes promedios se muestran en las Figuras 6 y 7. Para el análisis de la empatía, se utilizó una división por la mediana para cada una de las sub-escalas del IRI para clasificar a los participantes como de alta o baja empatía (procedimiento similar al reportado por Rak et al., 2013), tomando los diez participantes con más bajos o altos puntajes. La Tabla 2 muestra los estadísticos descriptivos por grupos.



**Figura 5.** Grandes promedios diferenciales por Agente en Fz. En la primera figura (arriba izq.) se ve la onda diferencial al restar todos los aciertos a todos los errores. En las otras figuras, se ven las ondas por agente. La línea punteada es la onda diferencial. La FRN se puede ver en todos los casos (aunque con distinta magnitud) entre los 200 y 300ms.



**Figura 6.** Grandes promedios para las tres valencias por Agente en Pz. En la primera figura (arriba izq.) se ven las tres valencias para todos los agentes. En las otras figuras, se ven las ondas por agente. El fp300 se puede ver en todos los casos (aunque con distinta magnitud) entre los 300 y 400ms.

## Resultados

Para el análisis de los componentes electrofisiológicos se utilizó Análisis de Varianza para medidas repetidas, con SPSS versión 16. Los resultados son como se detallan a continuación:

### Empatía

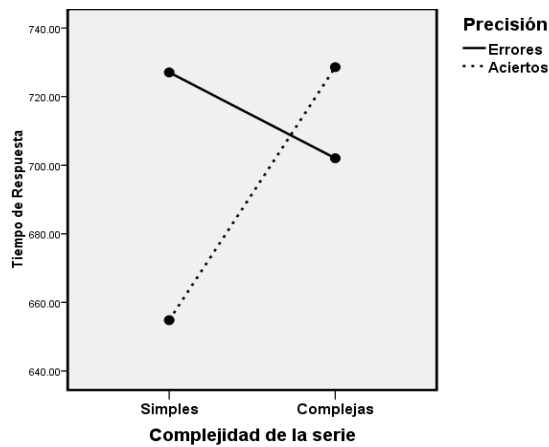
Los participantes tuvieron los siguientes puntajes en las escalas del Inventario de Reactividad Interpersonal (IRI): Toma de Perspectiva (M=16.7, DE=3.79), Fantasía (M=13.3, DE=5.59), Preocupación Empática (M=15.9, DE=4.88), y Malestar Personal (M=10.0, DE=4.86). La manera en que se dividieron los grupos en alta y baja empatía a partir de cada una de las subescalas puede verse en la Tabla 2. Se compararon los puntajes de cada subescala entre los grupos altos y bajos, con una prueba T para grupos independientes y en todos los casos las diferencias fueron estadísticamente significativas: Toma de Perspectiva ( $t(18)=-5.60, p<.001$ ), Fantasía ( $t(18)=-7.33, p<.001$ ), Preocupación Empática ( $t(18)=-5.68, p<.001$ ), y Malestar Personal ( $t(18)=-7.01, p<.001$ ).

**Tabla 2:** Las columnas representan agrupaciones para alta y baja empatía en cada una de las subescalas del IRI. Los grupos de alta y baja empatía se usaron como variable entre sujetos para un análisis mixto de la varianza.

	<b>Toma de Perspectiva (TP)</b>	<b>Fantasía (FS)</b>	<b>Preocupación Empática (PE)</b>	<b>Malestar Personal (MP)</b>
<b>Grupo bajo</b>	n=10	n=10	n=10	n=10
<b>Edad</b>	19.7 (DE=0.82)	19.4 (DE=0.51)	19.5 (DE=0.52)	19.7 (DE=0.68)
<b>Sexo (m/f)</b>	4/6	4/6	5/5	7/3
<b>Puntaje TP</b>	<b>20.5 (DE=3.13)</b>	23.1 (DE=4.04)	24.5 (DE=3.84)	23.4 (DE=3.89)
<b>Puntaje FS</b>	20.0 (DE=7.24)	<b>15.4 (DE=2.12)</b>	19.1 (DE=5.17)	19.7 (DE=4.64)
<b>Puntaje PE</b>	23.6 (DE=5.25)	22.3 (DE=5.42)	<b>18.8 (DE=3.52)</b>	20.6 (DE=5.06)
<b>Puntaje MP</b>	17.8 (DE=5.63)	16.8 (DE=4.98)	15.6 (DE=4.79)	<b>12.7 (DE=2.16)</b>
<b>Grupo alto</b>	n=10	n=10	n=10	n=10
<b>Edad</b>	19.4 (DE=0.51)	19.7 (DE=0.79)	19.71 (DE=0.82)	19.5 (DE=0.71)
<b>Sexo (m/f)</b>	6/4	4/6	1/9	2/8
<b>Puntaje TP</b>	<b>26.8 (DE=1.69)</b>	24.0 (DE=3.83)	23.4 (DE=3.60)	23.8 (DE=4.37)
<b>Puntaje FS</b>	19.8 (DE=4.37)	<b>25.5 (DE=3.81)</b>	20.9 (DE=5.99)	21.5 (DE=6.85)
<b>Puntaje PE</b>	22.6 (DE=5.06)	22.5 (DE=4.58)	<b>27.0 (DE=2.91)</b>	25.4 (DE=4.20)
<b>Puntaje MP</b>	17.1 (DE=4.68)	17.4 (DE=5.17)	19.0 (DE=4.62)	<b>21.4 (DE=3.27)</b>

## Tarea 1. Datos conductuales

Globalmente, el promedio en tiempo de respuesta (TR) fue de 693 ms. (DE=115 ms.) y la precisión global fue de .66 (DE=0.09). El TR para las series simples fue 666 ms. (DE=120 ms.) y 720 ms. (DE=116 ms.) para las series complejas. El promedio en precisión fue .80 (DE=.11) para las series simples, y .52 (DE=0.08) para las series complejas. Este desempeño resultó en un promedio de 80 ensayos correctos y 40 ensayos con error (de los cuales 25 correctos y 25 con error fueron utilizados en la revisión del desempeño para la Tarea 2.)



**Figura 7.** Interacción en los tiempos de respuesta.

Para conocer el comportamiento de los TR en todo el experimento, realizamos un Análisis de Varianza para medidas repetidas con dos factores: Precisión (Errores vs. Aciertos) x Complejidad (Simple vs. Complejo). En el análisis no se encontró un efecto de la Precisión ( $F(1,21)= 3.16, p=.09$ ) ni de la Complejidad ( $F(1,21)= 2.32, p=.142$ ). Sí se identificó una interacción estadísticamente significativa entre los dos factores ( $F(1,21)=10.64, p=.004, \eta^2 p=.34$ ). En las series simples, se respondió más rápido cuando se acertó ( $M=655, DE=26.50$ ) que cuando la respuesta fue errónea ( $M=727, DE=33.72$ ), y la diferencia fue significativa ( $p=.007$ ). En las series complejas el patrón en los TR se invirtió: los TR fueron mayores en los aciertos que en los errores, aunque la diferencia no fue estadísticamente significativa (ver Figura 7).



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). Para probar la predicción de que los ensayos a los que se respondió muy rápido o muy lentamente tendrían una precisión menor que el resto de los ensayos, con una prueba T se compararon los TR. La precisión al responder en los ensayos rápidos y lentos fue menor ( $M= 0.69$ ,  $DE= 0.079$ ) que en el resto de los ensayos ( $M= 0.74$ ,  $DE= 0.094$ ), y la diferencia fue estadísticamente significativa ( $t(22)= 1.782$ ,  $p< 0.048$ ,  $r=.36$ ) con un tamaño del efecto moderado.

Para el análisis del patrón de precisión, se realizó un Análisis de Varianza de  $2 \times 4 \times 2$ , 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 las series simples ( $M= 0.848$ ,  $DE= 0.095$ ) que para las complejas ( $M=0.571$ ,  $DE=0.071$ ). Estas diferencias fueron estadísticamente significativas ( $F(1,22)=155.21$ ,  $p< 0.01$ ,  $\eta^2p=0.876$ ). También se observó que la precisión en las respuestas aumentaba con el transcurso del experimento: Bloque 1 ( $M= 0.70$ ,  $DE= 0.12$ ), Bloque 2 ( $M=0.70$ ,  $DE= 0.11$ ), Bloque 3 ( $M=0.71$ ,  $DE=0.13$ ) y Bloque 4 ( $M= 0.74$ ,  $DE=0.10$ ). Sin embargo, esta diferencia no fue estadísticamente significativa ( $F(3,66)=0.823$ ,  $p=.49$ ). En cuanto al efecto de la congruencia en la precisión, los ensayos con series congruentes ( $M= 0.789$ ,  $DE= 0.12$ ) tuvieron mayor precisión que los de series incongruentes ( $M=0.630$ ,  $DE= 0.07$ ). La diferencia fue estadísticamente significativa ( $F(1,22)=25.27$ ,  $p< 0.01$ ,  $\eta^2p=0.535$ ). El análisis de la varianza no mostró interacciones significativas entre las variables.

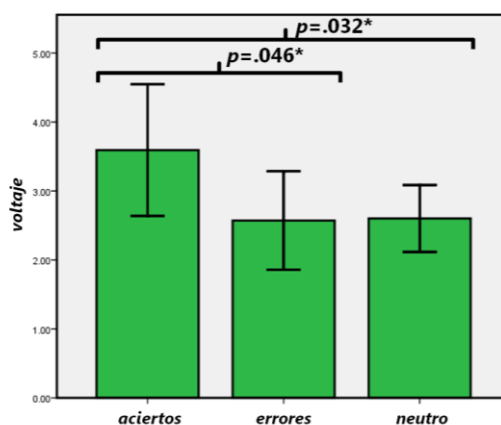
En cuanto a los TR, fueron menores para los ensayos simples ( $M=669$ ,  $DE=126$ ) que para los complejos ( $M=730$ ,  $DE=124$ ). Estas diferencias fueron estadísticamente significativas ( $F(1,22)=25.747$ ,  $p< 0.001$ ,  $\eta^2p=0.539$ ). También se observó que (como se esperaba) los TR disminuían con el transcurso del experimento: Bloque 1 ( $M=779$ ,  $DE=158$ ), Bloque 2 ( $M=705$ ,  $DE=129$ ), Bloque 3 ( $M=661$ ,  $DE=140$ ) y Bloque 4 ( $M=654$ ,  $DE=126$ ). Esta diferencia fue estadísticamente significativa ( $F(1,97,43.38)=12.53$ ,  $p< 0.001$ ,  $\eta^2p= 0.363$ ).

En cuanto al efecto de la congruencia en los TR, los ensayos con series congruentes ( $M=652$ ,  $DE=128$ ) tuvieron menores TR que los de series incongruentes ( $M=748$ ,  $DE=128$ ). La diferencia fue estadísticamente significativa ( $F(1,22)=54.35$ ,  $p<0.001$ ,  $\eta^2p=0.712$ ). Aunque no se observaron interacciones entre los efectos principales, un análisis de los efectos simples mostró que los TR de las series simples y complejas no difirieron entre sí en el Bloque 1 ( $p=.216$ ), pero sí en los demás: Bloque 2 ( $p=.013$ ), Bloque 3 ( $p<.001$ ) y Bloque 4 ( $p=.001$ ).

## Tarea 2. Datos electrofisiológicos

### Negatividad relacionada con la retroalimentación (Feedback related negativity, FRN).

No se identificó un efecto del factor Agente para este componente ( $F(2,44)=2.40$ ,  $p=.10$ ), pero sí un efecto de Valencia ( $F(2,44)=5.55$ ,  $p=.007$ ,  $\eta^2p=.20$ ). Voltajes más negativos fueron observados para la retroalimentación asociada con Errores ( $M=2.57$ ,  $DE=2.96$ ) y retroalimentación Neutral ( $M=2.60$ ,  $DE=2.02$ ), comparada con la retroalimentación de ensayos Correctos ( $M=3.60$ ,  $DE=3.96$ ). Las comparaciones por pares mostraron diferencias significativas para Correcto vs. Error ( $p=.046$ ), y Correcto vs. Neutro ( $p=.032$ ). La retroalimentación de Error y Neutral tuvieron voltajes similares como puede verse en las Figuras 5 y 8. Para este componente, no se identificaron interacciones entre los factores Agente y Valencia.



**Figura 8.** Diferencias por el factor Valencia entre los voltajes de la FRN.

### **P300 relacionado con la retroalimentación (Feedback related P300, fP300).**

Se encontró un efecto del factor Agente ( $F(1.57,34.59)=12.78, p<.001, \eta^2p=0.37$ ). Se observaron voltajes más positivos cuando los participantes revisaban su propio desempeño ( $M=4.17, DE=3.24$ ) en comparación con la revisión de alguien cercano ( $M=3.20, DE=3.69$ ), y alguien lejano ( $M=2.57, DE=4.89$ ). Las comparaciones por pares mostraron que sólo revisar el desempeño Propio difería de revisar el desempeño de alguien más: (Propio vs. Cercano,  $p=.003$ ; Propio vs. Lejano,  $p<.001$ ) y que revisar el desempeño ajeno era similar sin importar el agente (Cercano vs. Lejano,  $p=.36$ ). Un pequeño efecto del factor Valencia fue observado también ( $F(2,44)=3.48, p=.04, \eta^2p=.14$ ). Los voltajes más positivos aparecieron en la retroalimentación de Aciertos ( $M=3.86, DE=2.59$ ), seguidos por Error ( $M=3.193, DE=2.22$ ), y Neutro ( $M=2.887, DE=1.56$ ).

Se identificó una interacción Agente-Valencia. El análisis de efectos simples mostró que el efecto de Valencia se asoció con diferencias en los voltajes para las condiciones de retroalimentación de Acierto y Error. Para la retroalimentación de Aciertos, los voltajes difirieron según el agente: Propio ( $M=5.28, DE=4.76$ ), Cercano ( $M=3.43, DE=5.28$ ), y Distante ( $M=2.87, DE=5.21$ ). Las comparaciones por pares mostraron diferencias significativas al comparar Propio vs. Cercano ( $p=.003$ ) y Propio vs. Distante ( $p<.001$ ), pero no Cercano vs. Distante ( $p=.864$ ). Para la retroalimentación de Errores, los voltajes difirieron según el Agente: la comparación por pares mostró que las diferencias surgieron sólo en las condiciones propio vs. lejano ( $p<.001$ ). Para la retroalimentación neutral, no se encontraron diferencias entre los agentes. La interacción entre los factores puede verse en la Figura 9.

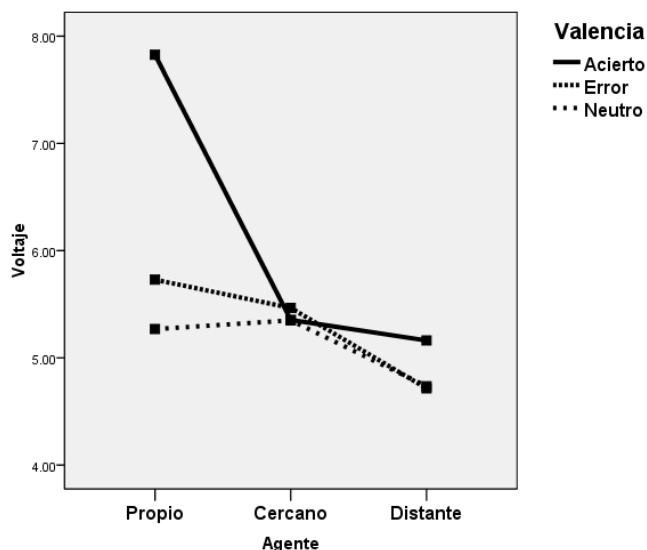
### **Empatía y procesamiento de la retroalimentación.**

Para el componente FRN, no se observaron diferencias de grupo entre los participantes con alta vs. baja empatía en ninguna de las cuatro subescalas del IRI. Para el componente fP300, en la inspección de los grandes promedios por grupos de empatía (ver Figura 10), se observa un patrón distinto en función del factor Agente. El análisis por grupos no mostró diferencias estadísticamente significativas al comparar grupos de alta y baja empatía en relación a las escalas de Toma de Perspectiva y Malestar personal. Sin embargo, la

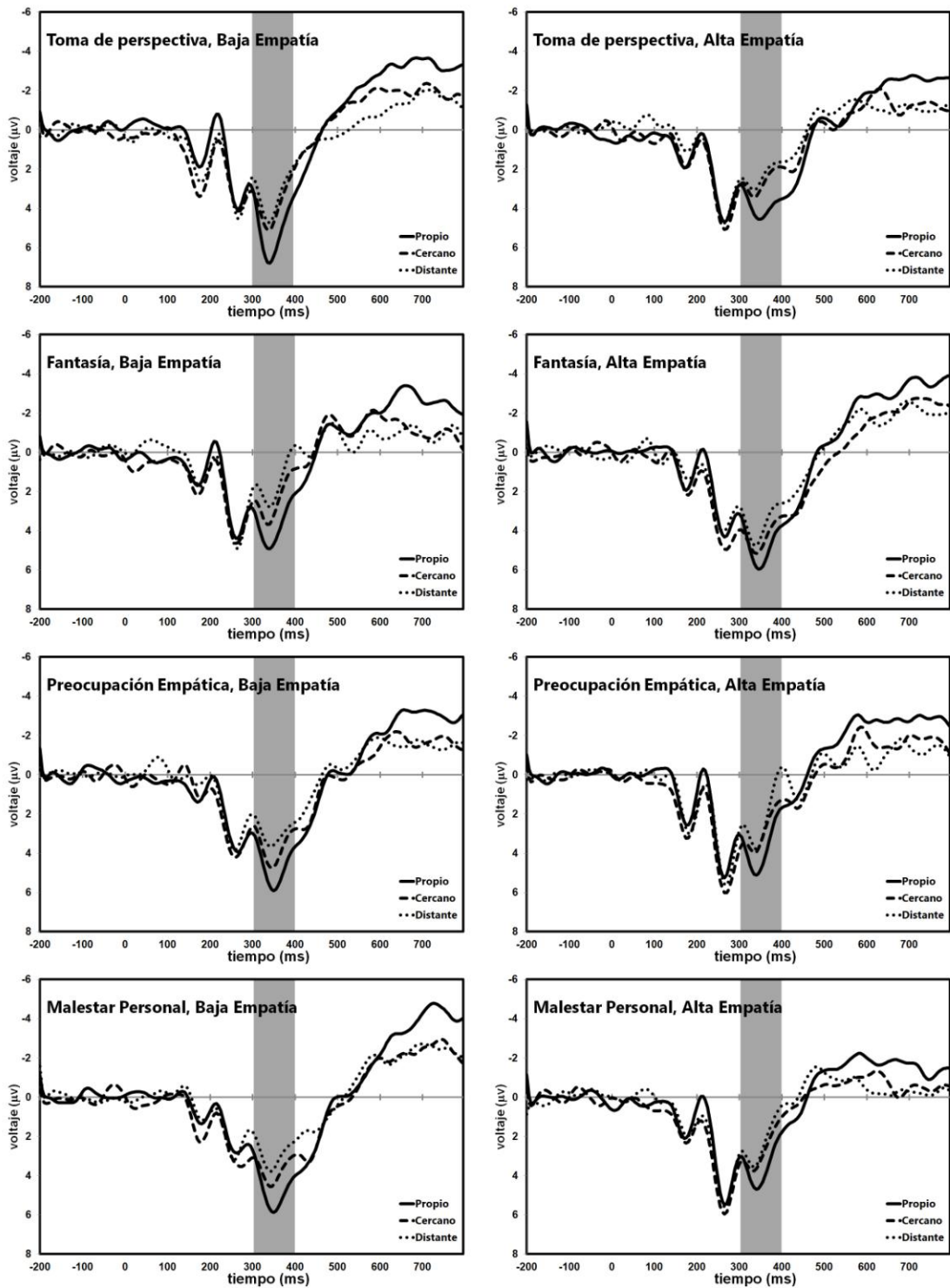
sdiferencias sí fueron estadísticamente significativas en las dos escalas restantes: Fantasía y Preocupación Empática (ver Figura 11). Las diferencias se detallan a continuación.

### **Grupos altos y bajos en la Escala de Fantasía.**

Para el grupo bajo de Fantasía, las pruebas post-hoc con corrección de Bonferroni muestran que los agentes Cercano y Distante no difirieron ( $p=.72$ ), pero Propio vs. Cercano ( $p=.005$ ) y Propio vs. Distante ( $p<.001$ ) sí difirieron de manera estadísticamente significativa. En contraste, para el grupo alto de Fantasía, las pruebas post-hoc no mostraron diferencias para los agentes Propio vs. Cercano ( $p=.399$ ) o Cercano vs Distante ( $p=.844$ ), pero sí para Propio vs. Distante ( $p=.02$ ); esto es, las personas con puntajes bajos en la escala de Fantasía tenían voltajes más altos para fP300 sólo para su desempeño. Además, aquellos con altos puntajes en la escala de Fantasía tenían mayores voltajes tanto para su propio desempeño como para el de alguien cercano, pero no para el de alguien distante. En otras palabras, en esta escala los de baja empatía tienen voltajes similares para los agentes cercano y distante, y ambos difieren del desempeño propio, en tanto que los de alta empatía tienen mayores voltajes propios que difieren de los de cualquier agente externo (sin importar si es cercano o distante).



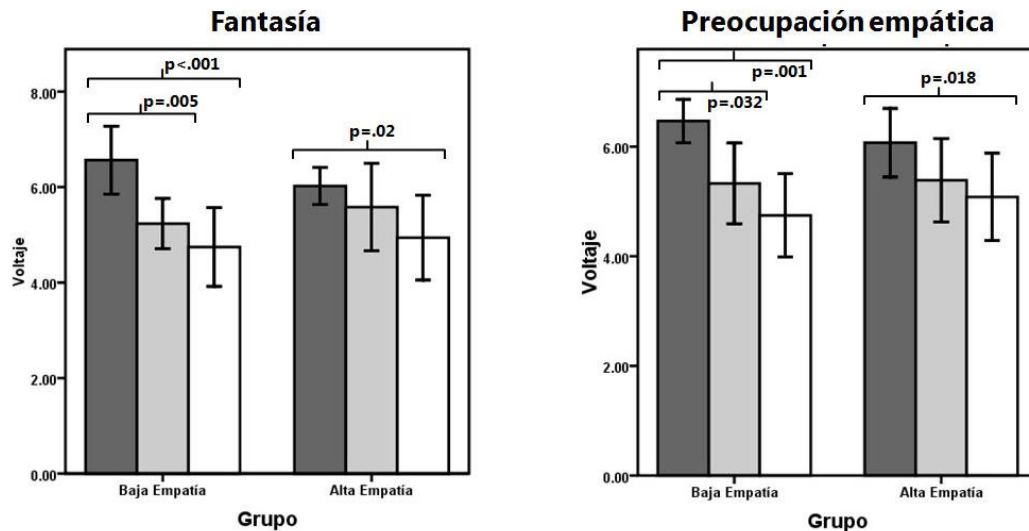
**Figura 9.** Interacción entre los factores Agente y Valencia: La condición de Acierto en el agente Propio marca la diferencia entre las condiciones.



**Figura 10.** Grandes promedios en Pz, por Agente para los grupos de alta y baja empatía en cada una de las subescalas del IRI.

### **Grupos altos y bajos en la Escala de Preocupación Empática**

Resultados similares se obtuvieron en el caso de la subescala de Preocupación Empática. Para el grupo bajo, las pruebas post-hoc corregidas muestran que los agentes Cercano y Distante no difieren ( $p=.640$ ), pero el desempeño Propio difiere del de alguien Cercano ( $p=.032$ ), y del de alguien distante ( $p=.001$ ). En contraste, el grupo alto en esta subescala, muestra que el desempeño Propio sólo difiere del Distante ( $p=.018$ ) pero no del de Cercano ( $p=.257$ ); el desempeño Cercano no difiere del Distante ( $p=.865$ ). Esto significa, que al igual que con los grupos de la subescala de Fantasía, las personas con puntajes altos en Preocupación Empática tienen voltajes similares en el fp300 para el desempeño Propio y el de alguien Cercano, pero no para alguien Distante; mientras que participantes con puntajes bajos tienen voltajes muy similar para Cercanos y Distantes, ambos siendo muy distintos de los del desempeño Propio.



**Figura 11.** Comparación entre los distintos agentes, por grupo de alta y baja empatía en las subescalas que mostraron diferencias significativas.

### **Análisis de los componentes por bandas de frecuencia.**

Para este análisis seguimos un procedimiento similar al reportado por Bernat, Nelson, Gehring, Steele y Patrick (2011). Estos autores han utilizado filtros pasabanda de 0.5 a 3 Hz para el fp300 (banda delta) y de 4 a 7 Hz para la FRN (banda theta). Se hicieron análisis de

varianza para cada componente en los sitios de interés (Fz para FRN y Pz para fP300). Los resultados son los siguientes:

### ***Negatividad relacionada con la retroalimentación en banda theta.***

Al igual que al analizar el espectro completo de 1 a 20Hz, en la banda theta no se identificó un efecto de Agente para este componente ( $F(2,44)=2.69$ ,  $p=.08$ ), pero sí un efecto de Valencia ( $F(2,44)=3.69$ ,  $p=.03$ ,  $\eta^2p=.14$ ) aunque el tamaño del efecto fue pequeño. Voltajes más negativos fueron observados para la retroalimentación asociada con Errores (M=1.22, DE=0.77) y Neutral (M=1.21, DE=0.59), comparada con la retroalimentación de ensayos Correctos (M=1.57, DE=0.96).

### ***P300 relacionado con retroalimentación (fP300) en banda delta.***

Al igual que en el análisis del espectro completo, para el fP300 en la banda delta se encontró un efecto del factor Agente ( $F(2,44)=7.15$ ,  $p=.002$ ,  $\eta^2p=.25$ ). Se observaron voltajes más positivos cuando los participantes revisaban su propio desempeño (M=4.76, DE=1.36) en comparación con la revisión de alguien cercano (M=4.34, DE=1.82), y alguien lejano (M=3.70, DE=1.74). Las comparaciones por pares mostraron que sólo revisar el desempeño Propio difería de revisar el desempeño de alguien Distante: (Propio vs. Distante,  $p=.004$ ). El efecto del factor Valencia observado en el análisis del espectro completo no se observa en el análisis de la banda delta ( $F(2,44)=2.75$ ,  $p=.07$ ,  $\eta^2p=.11$ ).

Se identificó una interacción Agente-Valencia. El análisis de efectos simples mostró que el efecto de Valencia se asocia básicamente a diferencias en los voltajes para las condiciones de retroalimentación de Acierto y Error. Para la retroalimentación de Aciertos, los voltajes difieren según el agente: Propios (M=5.58, DE=1.98), Cercano (M=4.17, DE=2.34), y Distante (M=4.20, DE=2.22). La comparación por pares muestra diferencias significativas al comparar Propio vs. Cercano ( $p=.01$ ) y Propio vs. Distante ( $p=.036$ ), pero no Cercano vs. Distante. Para la retroalimentación de Errores, los voltajes también difieren según el Agente: Propio (M=4.76, DE=1.91), Cercano (M=4.63, DE=2.98), y Distante (M=3.44, DE=1.69). La comparación por pares muestra que las diferencias surgen sólo en las condiciones Propio vs. Lejano ( $p<.001$ ). Para la retroalimentación Neutral, no se encontraron diferencias entre los agentes.

## **Discusión**

### **Resumen de los Hallazgos**

El objetivo central del presente estudio fue conocer las características de dos componentes electrofisiológicos que en la literatura se han asociado con el procesamiento de retroalimentación del desempeño tanto propio como ajeno, y su posible variación a partir del nivel de empatía de los sujetos. Las FRN no contingentes obtenidas varían en función de la valencia de la retroalimentación, en tanto que los fP300 varían en función del agente a quien se atribuye el desempeño. Este último componente parece comportarse de manera distinta en las personas que califican como de alta o baja empatía en dos subescalas del inventario utilizado. Se discuten a continuación aspectos conductuales de la tarea diseñada para este experimento y las implicaciones de los hallazgos electrofisiológicos.

### **Hallazgos Conductuales**

El patrón de desempeño en la Tarea 1, 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 éstos depende de errores en el análisis perceptual más que en la selección de la respuesta: de manera global los tiempos de respuesta para aciertos y errores fueron similares, aunque en el caso de las series simples las respuestas correctas fueron más rápidas. El hecho de que las respuestas rápidas y lentas tuvieran una tasa mayor de errores puede ser interpretado como resultado de un alto nivel de dificultad en la tarea y una presión para responder de manera correcta (e.g. Luce, 1986; Swenson, 1972). 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).

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 esta tarea 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 (e.g. Jasinski & Coch, 2012).

El resultado de la ejecución de la primera tarea puede interpretarse así: por una parte incorporaría una elevada carga cognitiva asociada con el alto 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 alta 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 (e.g. 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 decurso 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 utilizarse para estudiar tanto sus aspectos conductuales (ej. modificación en los tiempos de respuesta) como los electrofisiológicos (ej. variaciones eléctricas cerebrales asociadas con 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.

### **Hallazgos Neurofisiológicos**

En el plano electrofisiológico, el objetivo del presente experimento fue estudiar las características de dos componentes: la negatividad relacionada con la retroalimentación (FRN) y el P300 relacionado con la retroalimentación (fP300) en una tarea en la que se revisaba el desempeño propio y de compañeros. Para tal fin, desarrollamos una tarea

experimental que tuviera ensayos distintos entre sí, de tal manera que tuviera sentido hacer una revisión posterior del desempeño en una sesión ulterior. Nuestros resultados muestran que en esta tarea en particular, tanto la FRN como el fP300 pueden obtenerse de manera no contingente (no durante el desempeño, sino en relación con un desempeño previo) al recibir retroalimentación atribuida tanto al participante como a sus pares. Esto nos permitió saber más sobre el efecto que dos variables - en este caso Agente (la persona cuyo desempeño se revisa a través de la retroalimentación), y Valencia de la retroalimentación- tienen sobre la morfología de los componentes eléctricos mencionados.

La FRN no fue modulada por el Agente, dado que voltajes comparables fueron obtenidos independientemente de a quién se atribuía el desempeño. En este sentido, nuestros resultados difieren de los obtenidos por Carp et al. (2009), quienes observaron una modulación de la FRN al comparar la observación de amigos vs. extraños durante el desempeño de una tarea. No obstante, el presente experimento difiere en varios aspectos, dado que los participantes revisaban desempeño atribuido a compañeros conocidos (juzgados como cercanos o distantes socialmente) en lugar de extraños. La valencia de la retroalimentación tuvo un efecto en el voltaje de la FRN que hizo que los errores y la retroalimentación no informativa produjeran voltajes más negativos comparados con la retroalimentación positiva. Estos resultados son similares a los obtenidos en experimentos previos (Hajcak et al., 2006; Holroyd, Hajcak & Larsen, 2006; Holroyd et al., 2004) en los que la retroalimentación neutral producía FRNs comparables con las relacionadas con la retroalimentación negativa. Estos autores sugieren que el sistema que produce la FRN puede clasificar los resultados de manera dicotómica distinguiendo sólo si la meta se cumplió o no.

En relación al fP300, hay un efecto claro del Agente (voltajes más positivos para el desempeño propio comparado con el ajeno) que es similar a un efecto reportado previamente (Leng y Zhou, 2010; Wu et al., 2011). También, una interacción con la Valencia parece surgir: a pesar de que los voltajes son más positivos cuando un participante está revisando su propio desempeño, el efecto es particularmente fuerte cuando la retroalimentación indica una respuesta correcta.

La FRN y el fP300 obtenidas tienen una distribución topográfica similar a la que ha sido reportada en experimentos previos: esencialmente en la línea media, pero más anterior

(frontal) para la FRN y más posterior (parietal) para el fP300. Es muy probable que las mismas fuentes de actividad neuronal que han sido reportadas como subyacentes a estos componentes estén haciendo lo mismo en nuestra tarea. En tal caso, nuestros resultados serían consistentes con la teoría del reforzamiento, que plantea que la FRN de alguna manera refleja la detección de que el desempeño fue "peor de lo esperado". Un resultado especialmente interesante es que la FRN aparecería independientemente de su valor en la regulación del desempeño: en nuestra tarea, la actividad de la corteza cingulada anterior que se encuentra en la base de la FRN no implica regulación, dado que el desempeño observado ya no es modificable.

En relación con la empatía, encontramos diferencias en los voltajes del fP300 sólo cuando comparamos personas con alta/baja empatía en las subescalas de Fantasía y Preocupación Empática del IRI. No se identificaron efectos en la FRN. Los resultados implican que en estas dos subescalas las personas con baja empatía tienen voltajes similares para los pares cercanos y distantes, pero no para su propio desempeño (que tiene voltajes más altos), en tanto que las personas con alta empatía tienen voltajes similares para su propio desempeño y el de los pares cercanos (comparado con los pares distantes). Tal y como otros autores lo han sugerido (e.g. Thoma & Bellebaum, 2012), las estructuras que subyacen al procesamiento de la empatía parecen estar al menos parcialmente compartidas con las que sirven de base a la monitorización del desempeño, pero la relación entre estos procesos está lejos de ser clara. Nuestros resultados son distintos de los de Rak et al., (2013), quienes identificaron un efecto en los puntajes de la escala de Toma de Perspectiva sobre las amplitudes de P300 obtenidos durante una tarea de aprendizaje observacional. Una asociación entre el P300 y la escala de Preocupación Empática fue reportada también por Koban et al., (2012), quienes obtuvieron amplitudes mayores de P300 durante el aprendizaje observacional para las personas con altos puntajes en esta subescala. El patrón que emerge de nuestros resultados puede ser interpretado como una señal de que el procesar la retroalimentación asociada con el desempeño de alguien más ocurre de manera distinta en aquellos que califican con alta empatía en las escalas de Fantasía y Preocupación Empática, en comparación con los clasificados como de baja empatía (independientemente de la distancia social): en las personas con baja empatía el voltaje del fP300 parece estar gradado no sólo en función de si el desempeño observado corresponde al participante o a

alguien más, sino también en función de si aquella persona a la que se refiere es cercana o distante socialmente del participante; en contraste, en las personas con alta empatía el voltaje del componente no variaría en función de la distancia social, sino se comportaría de manera dicotómica distinguiendo sólo entre el desempeño propio y el ajeno.

### **Evaluación de los métodos**

Con base en nuestros resultados, dos puntos han de enfatizarse: (a) la naturaleza de la tarea, en la cual los sujetos -con base en un precedente serial de variables cambiantes- podían predecir el estímulo Target de cada ensayo construyendo un “*template*” mental que podría coincidir, o no, con el estímulo presentado; y (b) el diseño de un paradigma experimental que permite el registro de respuestas electrofisiológicas relacionadas con la retroalimentación a partir de elementos no contingentes atribuidos a diferentes agentes. La primera de estas características nos permitió utilizar un gran número de ensayos distintos que permiten que la revisión ulterior del desempeño siga siendo lo suficientemente interesante como para obtener los componentes de los PRES. La segunda característica abre nuevas posibilidades de experimentación para la monitorización vicaria en las que no se requiere de que quien responde a la tarea y quien observa estén presentes durante la tarea, y aún permite la medición de la reacción al desempeño atribuido a los pares.

### **Sugerencias de modificaciones y extensiones al estudio**

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.

La obtención de componentes relacionados con la retroalimentación a partir de un desempeño no activo ha sido ya reportada antes: Yeung et al. (2005) mostraron que el componente puede ser obtenido utilizando una tarea de apuestas en la que el participante no

elige sino que sólo recibe retroalimentación sobre ganancias y pérdidas. Un problema técnico con este tipo de tareas es la necesidad de mantener la atención del participante dado que no está tomando una parte activa en la tarea. Para controlar este problema, introdujimos entre los bloques, ensayos de una tarea de apuesta simple, pero en la investigación futura, podría resultar útil explorar tareas en las que la duración de los ensayos sea más corta, de tal manera que los experimentos puedan incluir más ensayos sin implicar periodos de tiempo más largos para los participantes. Una línea adicional de investigación podría utilizar un modelo similar (i.e., los participantes pueden recibir retroalimentación no contingente relacionada con el desempeño de distintos agentes), pero con tareas distintas. En este caso sería importante asegurarse de que los ensayos difieren lo suficiente como para mantener la atención de los sujetos y el valor informativo de la retroalimentación.

## **Conclusiones**

Los resultados del presente experimento permiten aceptar algunas de las hipótesis planteadas: la amplitud de la FRN obtenida a partir de retroalimentación no contingente atribuida al desempeño propio y ajeno varía en función de la valencia de la retroalimentación y lo hace de una manera prácticamente binaria (los aciertos difieren de los errores y la retroalimentación neutra en conjunto). Se esperaba que este componente también variara en función del agente a quien se atribuía la retroalimentación pero no ocurrió así. En contraste, el fP300 en la tarea descrita varía en función del agente a quien se atribuye la retroalimentación (y lo hace de una manera también cercana a lo binario, aunque más compleja, distinguiendo sobre todo entre el desempeño propio y el ajeno – independientemente de la distancia social); también en este caso se esperaba que el componente variara en función de la valencia de la retroalimentación, y se encontró que el componente es distinto sólo en un caso: los aciertos atribuidos al propio participante son distintos del resto de los casos (tanto en agentes como en valencias). Respecto a la relación de las variaciones en los componentes con la empatía, se encontró que son dos subescalas del IRI las que al agrupar a los sujetos en alta y baja empatía hacen surgir patrones distintos, pero sólo aplica para el componente fP300. Esto vincula al procesamiento de la retroalimentación, tal como se usa en este experimento, tanto con el componente emocional como con el cognitivo del procesamiento de la empatía.

Independientemente de que los resultados aquí reportados como significativos han sido obtenidos a partir de pruebas estadísticas, coincidimos con Luck (2005) y muchos otros autores en que la mejor prueba de que los datos reflejan algún aspecto de la realidad es la replicabilidad. Si bien los datos que presentamos coinciden con datos obtenidos en el piloteo de las tareas (Villuendas-González, González-Garrido & Gómez-Velázquez, 2012), consideramos necesario continuar con esta línea de investigación a fin de ponderar de mejor manera las implicaciones teóricas de los resultados aquí presentados.

## Referencias

- Amodio, D.M. & Frith, C.D. (2006). Meeting of minds: the medial frontal cortex and social cognition. *Nature Reviews Neuroscience*, 7, 268-277.
- Ashby, F.G., & Maddox, W.T. (2005). Human category learning. *Annual Review of Psychology*, 56, 149-178. doi: 10.1146/annurev.psych.56.091103.070217
- 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, NY: 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, NY: Guilford.
- Bäuchl, C. (2010). *The involvement of the FRN and the P300 brain potential in the neural processing of empathy*. Tesis doctoral inédita. University of Wien.
- Bellebaum, C., Kobza, S., Thiele, S., & Daum, I. (2010). It was not MY fault: event-related brain potentials in active and observational learning from feedback. *Cerebral Cortex*, 20(12), 2874-2883. doi: 10.1093/cercor/bhq038
- Bellebaum, C., Rustemeier, M., & Daum, I. (2012). Positivity effect in healthy aging in observational but not active feedback-learning. *Aging, Neuropsychology, and Cognition*, 19(3), 402-420. doi: 10.1080/13825585.2011.629289
- 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. doi: 10.1093/scan/nsq048
- Bernat, E.M., Nelson, L.D., Steele, V.R., Gehring, W.J., & Patrick, C.J. (2011). Externalizing psychopathology and gain-loss feedback in a simulated gambling task: Dissociable components of brain response revealed by time-frequency analysis. *Journal of abnormal psychology*, 120(2), 352-364. doi: 10.1037/a0022124

- Bettcher, B.M., & Giovannetti, T. (2009). From cognitive neuroscience to geriatric neuropsychology: What do current conceptualizations of the action error handling process mean for older adults?. *Neuropsychology review*, *19*(1), 64-84. doi: 10.1007/s11065-009-9081-6
- Blavier, A., Rouy, E., Nyssen, A.-S. & De Keyser, V. (2005). Prospective issues for error detection. *Ergonomics*, *48*, 758-781. doi: 10.1080/00140130500123670
- 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. doi: 10.1016/j.cogbrainres.2005.04.011
- Botvinick, M.M., Cohen, J.D., & Carter, C.S. (2004). Conflict monitoring and anterior cingulate cortex: an update. *Trends in Cognitive Sciences*, *8*(12), 539-546. doi: 10.1016/j.tics.2004.10.003
- Brazil, I.A., Mars, R.B., Bulten, B.H., Buitelaar, J.K., Verkes, R.J. & De Bruijn, E.R.A. (2011). A neurophysiological dissociation between monitoring one's own and others' actions in psychopathy. *Biological Psychiatry*, *69*, 693-699.
- Carp, J., Halenar, M.J., Quandt, L.C., Sklar, A. & Compton, R.J. (2009). Perceived similarity and neural mirroring: Evidence from vicarious error processing. *Social Neuroscience*, *4*, 85-96.
- Carter, C. S., & Van Veen, V. (2007). Anterior cingulate cortex and conflict detection: an update of theory and data. *Cognitive, Affective, & Behavioral Neuroscience*, *7*(4), 367-379. doi: 10.3758/CABN.7.4.367
- Davis, M.H. (1980). A multidimensional Approach to Individual Differences in Empathy. *JSAS Catalog of Selected Documents in Psychology*, *10*, 85.
- Dhar, M., Wiersema, J. R., & Pourtois, G. (2011). Cascade of neural events leading from error commission to subsequent awareness revealed using EEG source imaging. *PLoS One*, *6*(5), e19578. doi: 10.1371/journal.pone.0019578
- Donkers, F. C., Nieuwenhuis, S., & van Boxtel, G. J. (2005). Medial frontal negativities in the absence of responding. *Cognitive Brain Research*, *25*(3), 777-787. doi: 10.1016/j.cogbrainres.2005.09.007
- Dubois, B., Pillon, B. & Sirigu, A. (1998). Fonctions intégratrices et cortex préfrontal chez l'homme. En X. Seron & M. Jannerod (Eds.). *Neuropsychologie humaine* (2a ed.) (pp. 453-470). Lieja: Mardaga.
- Eichele, H., Eichele, T., Hammar, A., Freyberger, H.J., Hugdahl, K. & Plessen, K.J. (2010). Go/NoGo performance in boys with Tourette Syndrome. *Child Neuropsychology*, *16*, 162-168.



- Eisenberg, N. (2000). Emotion, regulation, and moral development. *Annual review of psychology*, 51(1), 665-697.
- 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. doi: 10.1111/j.1460-9568.2004.03631.x
- Eppinger, B., Mock, B., & Kray, J. (2009). Developmental differences in learning and error processing: evidence from ERPs. *Psychophysiology*, 46(5), 1043-1053. doi: 10.1111/j.1469-8986.2009.00838.x
- Eslinger, P.J. (2008). The frontal lobe: executive, emotional and neurological functions. En P. Mariën & J. Abutalebi (Eds.). *Neuropsychological research. A review.* (pp. 379-408). Nueva York, NY: Psychology Press.
- Faglioni, P. (1996). Lobo frontale. En G. Denes & L. Pizzamiglio (Eds.). *Manuale di neuropsicología. Normalità e patología dei processi cognitivi* (2ª ed.) (pp. 701-750). Boloña: Zanichelli.
- Falkenstein, M., Hielscher, H., Dziobek, I., Schwarzenau, P., Hoormann, J., Sundermann, B. et al. (2001). Action monitoring, error detection, and the basal ganglia: an ERP study. *Neuroreport*, 12, 157-161.
- Falkenstein, M., Hoormann, J., Christ, S., & Hohnsbein, J. (2000). ERP components on reaction errors and their functional significance: a tutorial. *Biological Psychology*, 51(2), 87-107. doi: 10.1016/S0301-0511(99)00031-9
- Fiehler, K., Ullsperger, M. & von Cramon, D.Y. (2005). Electrophysiological correlates of error correction. *Psychophysiology*, 42, 72-82. doi: 10.1111/j.1469-8986.2005.00265.x
- Fleming, J. M., & Ownsworth, T. (2006). A review of awareness interventions in brain injury rehabilitation. *Neuropsychological Rehabilitation*, 16(4), 474-500. doi: 10.1080/09602010500505518
- Gallese, V., Keysers, C., & Rizzolatti, G. (2004). A unifying view of the basis of social cognition. *Trends in cognitive sciences*, 8(9), 396-403.
- Garavan, H., Ross, T.J., Murphy, K., Roche, R.A.P., & Stein, E.A. (2002). Dissociable executive functions in the dynamic control of behavior: inhibition, error detection, and correction. *Neuroimage*, 17(4), 1820-1829. doi: 10.1006/nimg.2002.1326

- Gehring, W.J., Goss, B., Coles, M.G., Meyer, D.E., & Donchin, E. (1993). A neural system for error detection and compensation. *Psychological Science*, 4(6), 385-390. doi: 10.1111/j.1467-9280.1993.tb00586.x
- Gehring, W.J., & Willoughby, A.R. (2004). Are all medial frontal negativities created equal? Toward a richer empirical basis for theories of action monitoring. En M. Ullsperger & M. Falkenstein (eds.), *Errors, Conflicts, and the Brain. Current Opinions on Performance Monitoring* (pp. 14-20). Leipzig, Max Planck Institute of Cognitive Neuroscience.
- Gray, H.M., Ambady, N., Lowenthal, W.T., & Deldin, P. (2004). P300 as an index of attention to self-relevant stimuli. *Journal of Experimental Social Psychology*, 40, 216-224. doi: 10.1016/S0022-1031(03)00092-1
- Hajcak, G., Moser, J. S., Holroyd, C. B., & Simons, R. F. (2006). The feedback-related negativity reflects the binary evaluation of good versus bad outcomes. *Biological psychology*, 71(2), 148-154. doi: 10.1016/j.biopsycho.2005.04.001
- Hämmerer, D., Li, S.C., Müller, V., & Lindenberger, U. (2011). Life span differences in electrophysiological correlates of monitoring gains and losses during probabilistic reinforcement learning. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 23(3), 579-592.
- 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(5), 16-28.
- Heatherington, T.F. & Wagner, D.D. (2011). Cognitive neuroscience of self-regulation failure. *Trends in Cognitive Sciences*, 15, 132-139. doi: 10.1016/j.tics.2010.12.005
- Heldmann, M., Rüsseler, J., & Münte, T.F. (2008). Internal and external information in error processing. *BMC Neuroscience*, 9(1), 33. doi: 10.1186/1471-2202-9-33
- Holroyd, C.B., & Coles, M.G. (2002). The neural basis of human error processing: reinforcement learning, dopamine, and the error-related negativity. *Psychological Review*, 109(4), 679-709. doi: 10.1037/0033-295X.109.4.679
- Holroyd, C.B., Hajcak, G., & Larsen, J.T. (2006). The good, the bad and the neutral: electrophysiological responses to feedback stimuli. *Brain Research*, 1105(1), 93-101. doi: 10.1016/j.brainres.2005.12.015

- Holroyd, C.B., Larsen, J.T., & Cohen, J.D. (2004). Context dependence of the event-related brain potential associated with reward and punishment. *Psychophysiology*, *41*(2), 245-253. doi: 10.1111/j.1469-8986.2004.00152.x
- Horowitz-Kraus, T. & Breznitz, Z. (2009). Can the error detection mechanism benefit from training the working memory? A comparison between dyslexics and controls- An ERP study. *Plos ONE*, *4*, e7141.
- Jasinski, E.C., & Coch, D. (2012). ERPs across arithmetic operations in a delayed answer verification task. *Psychophysiology*, *49*(7), 943-958. doi: 10.1111/j.1469-8986.2012.01378.x
- 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. doi: 10.1080/17470210802240655
- Kang, S.K., Hirsh, J.B. & Chasteen, A.L. (2010). Your mistakes are mine: self-other overlap predicts neural response to observed errors. *Journal of Experimental Social Psychology*, *46*, 229-232.
- 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. doi: 10.1111/1469-8986.3720216
- Koban, L., Pourtois, G., Bediou, B., & Vuilleumier, P. (2012). Effects of social context and predictive relevance on action outcome monitoring. *Cognitive, Affective, & Behavioral Neuroscience*, *12*(3), 460-478. doi: 10.3758/s13415-012-0091-0
- Leng, Y., & Zhou, X. (2010). Modulation of the brain activity in outcome evaluation by interpersonal relationship: An ERP study. *Neuropsychologia*, *48*, 448-455. doi: 10.1016/j.neuropsychologia.2009.10.002
- Luce, R.D. (1986). Two-choice reaction times: Basic ideas and data. En: *Response times: their role in inferring elementary mental organization* (pp. 205-272). Nueva York, NY: Oxford University Press.
- Luck, S. (2005). *An introduction to the event-related potential technique*. Cambridge, MA: MIT Press.

- Luu, P., Tucker, D.M., Derryberry, D., Reed, M., & Poulsen, C. (2003). Electrophysiological responses to errors and feedback in the process of action regulation. *Psychological Science*, *14*(1), 47-53. doi: 10.1111/1467-9280.01417
- Magno, E., Foxe, J. J., Molholm, S., Robertson, I. H., & Garavan, H. (2006). The anterior cingulate and error avoidance. *The Journal of neuroscience*, *26*(18), 4769-4773. doi: 10.1523/JNEUROSCI.0369-06.2006
- Marcora, S.M., Staiano, W., & Manning, V. (2009). Mental fatigue impairs physical performance in humans. *Journal of Applied Physiology*, *106*(3), 857-864. doi: 10.1152/jappphysiol.91324.2008
- Menon, V., Adleman, N. E., White, C. D., Glover, G. H., & Reiss, A. L. (2001). Error-related brain activation during a Go/NoGo response inhibition task. *Human brain mapping*, *12*(3), 131-143.
- Mestre-Escrivá, V., Frías Navarro, M.D., & Samper García, P. (2004). La medida de la empatía: análisis del Interpersonal Reactivity Index. *Psicothema*, *16*(2), 255-260.
- Miltner, W.H.R., Brauer, J., Hecht, H., Trippe, R. & Coles, M.G.H. (2004). Parallel brain activity for self-generated and observed errors. En M. Ullsperger & M. Falkenstein (Eds.), *Current opinions on performance monitoring*. Leipzig: Max Planck Institute for Human Cognitive and Brain Sciences.
- Miltner, W.H., Braun, C.H., & Coles, M.G. (1997). Event-related brain potentials following incorrect feedback in a time-estimation task: Evidence for a “generic” neural system for error detection. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *9*(6), 788-798. doi: 10.1162/jocn.1997.9.6.788
- Moser, J.S., & Simons, R.F. (2009). The neural consequences of flip-flopping: The feedback-related negativity and salience of reward prediction. *Psychophysiology*, *46*(2), 313-320. doi: 10.1111/j.1469-8986.2008.00760.x
- Nieuwenhuis, S., Schweizer, T. S., Mars, R. B., Botvinick, M. M., & Hajcak, G. (2007). Error-likelihood prediction in the medial frontal cortex: A critical evaluation. *Cerebral Cortex*, *17*(7), 1570-1581. doi: 10.1093/cercor/bhl068
- Núñez Castellar, E., Notebaert, W., Van den Bossche, L., & Fias, W. (2011). How monitoring other’s actions influences one’s own performance: Post-error adjustments are influenced by the nature of the social interaction. *Experimental psychology*, *58*(6), 499-508. doi: 10.1027/1618-3169/a000118

- Ochsner, K.N., Beer, J.S., Robertson, E.R., Cooper, J.C., Gabrieli, J.D., Kihlstrom, J.F., & D'Esposito, M. (2005). The neural correlates of direct and reflected self-knowledge. *Neuroimage*, *28*(4), 797-814. doi: 10.1016/j.neuroimage.2005.06.069
- Owensworth, T.L., McFarland, K., & McYoung, R. (2000). Self-awareness and psychosocial functioning following acquired brain injury: An evaluation of a group support programme. *Neuropsychological Rehabilitation*, *10*(5), 465-484. doi: 10.1080/09602010050143559
- 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. doi: 10.1080/09602010902949223
- Passingham, R. E., Bengtsson, S. L., & Lau, H. C. (2010). Medial frontal cortex: from self-generated action to reflection on one's own performance. *Trends in cognitive sciences*, *14*(1), 16-21. doi: 10.1016/j.tics.2009.11.001
- Polich, J. (2007). Updating P300: an integrative theory of P3a and P3b. *Clinical Neurophysiology*, *118*(10), 2128-2148. doi: 10.1016/j.clinph.2007.04.019
- Rabbitt, P.M.A. (1966). Errors and error correction in choice response tasks. *Journal of Experimental Psychology*, *71*, 264-272. doi: 10.1037/h0022853
- Rabbitt, P.M.A. & 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. doi: 10.1080/14640747708400645
- Radke, S., De Lange, F. P., Ullsperger, M., & De Bruijn, E. R. A. (2011). Mistakes that affect others: an fMRI study on processing of own errors in a social context. *Experimental brain research*, *211*(3-4), 405-413.
- Rak, N., Bellebaum, C., & Thoma, P. (2013). Empathy and feedback processing in active and observational learning. *Cognitive, Affective, & Behavioral Neuroscience*, 1-16. doi: 10.3758/s13415-013-0187-1
- Reason, J., (1990). *Human error*. Cambridge, MA: Cambridge University Press.
- Ridderinkhof, K.R., Ramautar, J.R., & Wijnen, J.G. (2009). To PE or not to PE: A P3-like ERP component reflecting the processing of response errors. *Psychophysiology*, *46*(3), 531-538. doi: 10.1111/j.1469-8986.2009.00790.x

- Ridderinkhof, K.R., Ullsperger, M., Crone, E.A., & Nieuwenhuis, S. (2004). The role of the medial frontal cortex in cognitive control. *Science*, *306*(5695), 443-447.
- Santesso, D.L., Segalowitz, S.J., & Schmidt, L.A. (2005). ERP correlates of error monitoring in 10-year olds are related to socialization. *Biological Psychology*, *70*(2), 79-87. doi: 10.1016/j.biopsycho.2004.12.004
- Seger, C.A. & Miller, E.K. (2010). Category learning in the brain. *Annual Review of Neuroscience*, *33*, 203-219.
- Sellen, A. J. (1994). Detection of everyday errors. *Applied Psychology*, *43*(4), 475-498. doi: 10.1111/j.1464-0597.1994.tb00841.x
- Shamay-Tsoory, S. G. (2011). The neural bases for empathy. *The Neuroscientist*, *17*(1), 18-24.
- Shane, M.S., Stevens, M., Harenski, C.L., & Kiehl, K.A. (2008). Neural correlates of the processing of another's mistakes: a possible underpinning for social and observational learning. *Neuroimage*, *42*(1), 450-459. doi: 10.1016/j.neuroimage.2007.12.067
- Simons, R. F. (2010). The way of our errors: theme and variations. *Psychophysiology*, *47*(1), 1-14. doi: 10.1111/j.1469-8986.2009.00929.x
- Sokhadze, E., Baruth, J., El-Baz, A., Horrell, T., Sokhadze, G., Carroll, T., ... & Casanova, M.F. (2010). Impaired error monitoring and correction function in autism. *Journal of Neurotherapy*, *14*, 79-95. doi: 10.1080/10874201003771561
- Sokhadze, E., Stewart, C., Hollifield, M. & Tasman, A. (2008). Event-related potential study of executive dysfunctions in a speeded reaction task in cocaine addiction. *Journal of Neurotherapy*, *12*, 185-204.
- Steinhauser, M., & Yeung, N. (2010). Decision processes in human performance monitoring. *The Journal of neuroscience*, *30*(46), 15643-15653. doi: 10.1523/JNEUROSCI.1899-10.2010
- Swenson, R.G. (1972). The elusive tradeoff: Speed vs accuracy in visual discrimination tasks. *Perception & Psychophysics*, *12*, 16-32. doi: 10.3758/BF03212837
- Swick, D., & Turken, U. (2002). Dissociation between conflict detection and error monitoring in the human anterior cingulate cortex. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *99*(25), 16354-16359. doi: 10.1073/pnas.252521499

- Taylor, S.F., Stern, E.R. & Gehring, W.J. (2007). Neural systems for error monitoring: Recent findings and theoretical perspectives. *Neuroscientist*, *13*, 160-172. doi: 10.1177/1073858406298184
- Tekin, S., & Cummings, J. L. (2002). Frontal–subcortical neuronal circuits and clinical neuropsychiatry: an update. *Journal of psychosomatic research*, *53*(2), 647-654.
- Thoma, P., & Bellebaum, C. (2012). Your error’s got me feeling—how empathy relates to the electrophysiological correlates of performance monitoring. *Frontiers in Human Neuroscience*, *6*, 135. doi: 10.3389/fnhum.2012.00135
- Treadwell, T.W., Leach, E. & Stein, S. (1983). The Social Networks Inventory. A diagnostic instrument measuring interpersonal relationships. *Small Group Research*, *24*(2), 155-178.
- Uddin, L.Q., Iacoboni, M., Lange, C., & Keenan, J.P. (2007). The self and social cognition: the role of cortical midline structures and mirror neurons. *Trends in Cognitive Sciences*, *11*(4), 153-157. doi: 10.1016/j.tics.2007.01.001
- Ullsperger, M. (2006). Performance monitoring in neurological and psychiatric patients. *International Journal of Psychophysiology*, *59*, 59-69. doi: 10.1016/j.ijpsycho.2005.06.010
- Ullsperger, M., Harsay, H.A., Wessel, J.R. & Ridderinkhof, K.R. (2010). Conscious perception of errors and its relation to the anterior insula. *Brain Structure and Function*, *214*, 629-643.
- 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. doi: 10.1006/nimg.2001.0935
- Ullsperger, M., & Von Cramon, D.Y. (2003). Error monitoring using external feedback: specific roles of the habenular complex, the reward system, and the cingulate motor area revealed by functional magnetic resonance imaging. *The Journal of Neuroscience*, *23*(10), 4308-4314.
- Villuendas González, E.R. (2012). ERP Analyzer (v1.0) [macro para Microsoft Excel]. Guadalajara: Laboratorio de Neurofisiología Clínica. Disponible en <http://www.lnfc.com/ervg.html>
- Villuendas González, E.R. & González Garrido, A.A. (2013). Desarrollo de una tarea computarizada de categorización a partir de reglas para la monitorización conductual y neurofisiológica del error. *Revista de Neuropsicología, Neuropsiquiatría y Neurociencias*, *13*(2), 127-139.

- Villuendas González, E.R., González Garrido, A.A. & Gómez Velázquez, F.R. (Septiembre, 2012). Social distance and FRN. Cartel presentado en la 52 reunión anual de la Society for Psychophysiological Research, New Orleans, LA. *Psychophysiology*, 49(s1), s81.
- 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. doi: 10.1016/j.neuropsychologia.2008.04.006
- Vuilleumier, P. (2004). Anosognosia: the neurology of beliefs and uncertainties. *Cortex*, 40, 9-17. doi: 10.1016/S0010-9452(08)70918-3
- Wiersema, J.R., van der Meere, J.J. & Roeyers, H. (2005). ERP correlates of impaired error monitoring in children with ADHD. *Journal of Neural Transmission*, 112, 1417-1430.
- Wu, Y., Leliveld, M.C. & Zhou, X. (2011). Social distance modulates recipient's fairness consideration in the dictator game: An ERP study. *Biological Psychology*, 88, 253-262. doi: 10.1016/j.biopsycho.2011.08.009
- Yeung, N., Botvinick, M.M., & Cohen, J.D. (2004). The neural basis of error detection: conflict monitoring and the error-related negativity. *Psychological review*, 111(4), 931-959. doi: 10.1037/0033-295X.111.4.931
- Yeung, N., Holroyd, C.B., & Cohen, J.D. (2005). ERP correlates of feedback and reward processing in the presence and absence of response choice. *Cerebral Cortex*, 15(5), 535-544. doi: 10.1093/cercor/bhh153
- Yu, R., & Zhou, X. (2006a). Brain responses to outcomes of one's own and other's performance in a gambling task. *Neuroreport*, 17(16), 1747-1751. doi: 10.1097/01.wnr.0000239960.98813.50
- Yu, R., & Zhou, X. (2006b). Brain potentials associated with outcome expectation and outcome evaluation. *Neuroreport*, 17(15), 1649-1653. doi: 10.1097/01.wnr.0000236866.39328.1d
- Zeman, A. (2006). What do we mean by “conscious” and “aware”? *Neuropsychological Rehabilitation*, 16, 356-376. doi: 10.1080/09602010500484581
- Zottoli, T. M., & Grose-Fifer, J. (2012). The feedback-related negativity (FRN) in adolescents. *Psychophysiology*, 49(3), 413-420. doi: 10.1111/j.1469-8986.2011.01312.x



## **Anexos**

1. Carta de aprobación del proyecto por el Comité de Ética del Instituto de Neurociencias, U.D.G.
2. Inventario de Reactividad Interpersonal.
3. Cuestionario de distancia social.
4. Carta de consentimiento informado.

*Recibido*

UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA  
CENTRO UNIVERSITARIO DE CIENCIAS  
BIOLÓGICAS Y AGROPECUARIAS

INSTITUTO DE NEUROCIENCIAS

COMITÉ DE ÉTICA

DICTAMEN DEL COMITÉ DE ÉTICA AL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

Análisis de potenciales relacionados a eventos (PREs) en el monitoreo de errores propios y ajenos en una tarea experimental de atención.

CON NÚMERO DE REGISTRO ET042011-105

RESPONSABLE Andrés Antonio González Garrido

NOMBRE DEL ALUMNO Erwin Rogelio Villuendas González

APROBADO SIN MODIFICACIONES

RECHAZADO

*ABD*

SUGERENCIAS: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

*2/9*

*[Signature]*

*[Signature]*

*[Signature]*


RECHAZADO DEBIDO A: \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

En caso de haber sido evaluado con sugerencias, se requiere someter a re-evaluación el proyecto de investigación, en primera instancia, al comité tutelar y posteriormente al Comité de Ética en un lapso máximo de 2 semanas a partir de esta fecha.


Se emite el presente DICTAMEN el día 20 de junio  
de 2011, firmando los integrantes del Comité de Ética  
del Instituto de Neurociencias.

**Presidente**  
  
Dr. Alfredo Feria Velasco

**Secretaria**  
  
Dra. Marisela Hernández González

**Vocales:**  
  
Dr. Jacinto Bañuelos Pineda

  
Dr. Luis Francisco Cerdán Sánchez

  
Dr. Andrés A. González Garrido

  
Dr. Jorge Juárez González

Cep. Comité Tutelar correspondiente.

I.R.I.

Nombre completo .....  
 Edad ..... Sexo: M F Dominancia manual Izq Der Grupo .....

Las siguientes frases se refieren a tus pensamientos y sentimientos en una variedad de situaciones. Para cada cuestión indica cómo te describe **eligiendo la puntuación de 1 a 5**. Cuando hayas elegido tu respuesta, rellena el círculo correspondiente. **Lee cada frase cuidadosamente antes de responder**. Contesta honestamente. GRACIAS.

<b>Clave:</b> 1) No me describe bien 2) Me describe un poco 3) Me describe 4) Me describe bien 5) Me describe muy bien	1	①②③④⑤	8	①②③④⑤	15	①②③④⑤	22	①②③④⑤
	2	①②③④⑤	9	①②③④⑤	16	①②③④⑤	23	①②③④⑤
	3	①②③④⑤	10	①②③④⑤	17	①②③④⑤	24	①②③④⑤
	4	①②③④⑤	11	①②③④⑤	18	①②③④⑤	25	①②③④⑤
	5	①②③④⑤	12	①②③④⑤	19	①②③④⑤	26	①②③④⑤
	6	①②③④⑤	13	①②③④⑤	20	①②③④⑤	27	①②③④⑤
	7	①②③④⑤	14	①②③④⑤	21	①②③④⑤	28	①②③④⑤

1. Sueño y fantaseo, bastante a menudo, acerca de las cosas que me podrían suceder.	15. Si estoy seguro que tengo la razón en algo no pierdo tiempo escuchando los argumentos de los demás.
2. A menudo tengo sentimientos tiernos y de preocupación hacia la gente menos afortunada que yo.	16. Después de ver una obra de teatro o cine me he sentido como si fuera uno de los personajes.
3. A menudo encuentro difícil ver las cosas desde el punto de vista de otra persona.	17. Cuando estoy en una situación emocionalmente tensa me asusto.
4. A veces no me siento muy preocupado por otras personas cuando tienen problemas.	18. Cuando veo a alguien que está siendo tratado injustamente a veces no siento ninguna compasión por él.
5. Verdaderamente me identifico con los sentimientos de los personajes de una novela.	19. Normalmente soy bastante eficaz al ocuparme de emergencias.
6. En situaciones de emergencia me siento aprensivo e incómodo.	20. A menudo estoy bastante afectado emocionalmente por cosas que veo que ocurren.
7. Soy normalmente objetivo cuando veo una película u obra de teatro y no me involucro completamente.	21. Pienso que hay dos partes para cada cuestión e intento tener en cuenta ambas partes.
8. Intento tener en cuenta cada una de las partes (opiniones) en un conflicto antes de tomar una decisión.	22. Me describiría como una persona bastante sensible.
9. Cuando veo que a alguien se le toma el pelo tiendo a protegerlo.	23. Cuando veo una buena película puedo muy fácilmente situarme en el lugar del protagonista.
10. Normalmente siento desesperanza cuando estoy en medio de una situación muy emotiva.	24. Tiendo a perder el control durante las emergencias.
11. A menudo intento comprender mejor a mis amigos imaginándome cómo ven ellos las cosas (poniéndome en su lugar).	25. Cuando estoy disgustado con alguien normalmente intento ponerme en su lugar por un momento.
12. Resulta raro para mí implicarme completamente en un buen libro o película.	26. Cuando estoy leyendo una historia interesante o una novela imagino cómo me sentiría si los acontecimientos de la historia me sucedieran a mí.
13. Cuando veo a alguien herido tiendo a permanecer calmado.	27. Cuando veo a alguien que necesita urgentemente ayuda en una emergencia me derrumbo.
14. Las desgracias de otros normalmente no me molestan mucho.	28. Antes de criticar a alguien intento imaginar cómo me sentiría si estuviera en su lugar.

### Inventario de Distancia Social (Basado en el S.N.I. de Treadwell)

Debajo encontrarás una lista de tus compañeros de sección. Califica a cada persona en las dos escalas que están listadas a un lado de cada nombre.

La primera escala representa qué tan cerca te encuentras de cada persona. Para la segunda escala, colócate en los zapatos de cada persona elegida y estima qué tan cercana piensa esa persona que se encuentra respecto a ti.

La puntuación de 1 en las escalas sugiere una alta cercanía, mientras una puntuación de 7 indica más bien lejanía. Encierra en un círculo tus respuestas.

Cancela con una línea la casilla correspondiente a tu propio nombre.

	Relación contigo						
	¿Qué tan cercano eres con esta persona?						
<del>Alvarado / Patricia / Wilson / Angélica</del>	1	2	3	4	5	6	7
<del>Bautista / Mariana / Carolina / Jannin</del>	1	2	3	4	5	6	7
<del>Blanco / Mariana / J. J. / José / C</del>	1	2	3	4	5	6	7
<del>Carrillo / Valeria / Mariana / B. / Ricardo</del>	1	2	3	4	5	6	7
<del>Figueroa / Tréver / María / Dolores</del>	1	2	3	4	5	6	7
<del>García / Sandra / Peter / Gabriel</del>	1	2	3	4	5	6	7
<del>Wiles / Ramiro / Brenda / Natalia</del>	1	2	3	4	5	6	7
<del>Díaz / Sergio / María</del>	1	2	3	4	5	6	7
<del>Pedro / Gabriel / Juli</del>	1	2	3	4	5	6	7
<del>Pérez / Diego / Ana / Lorena</del>	1	2	3	4	5	6	7
<del>Pérez / Sergio / Brenda / Williams</del>	1	2	3	4	5	6	7
<del>Rodríguez / Rogger / Gabriela / Paul</del>	1	2	3	4	5	6	7
<del>Sánchez / Carolina / Gabriel</del>	1	2	3	4	5	6	7
<del>Utrilla / Payer / Ana / Gabriela</del>	1	2	3	4	5	6	7
<del>Ventura / Matthew / Eric / Javier</del>	1	2	3	4	5	6	7

### Consentimiento Informado

Estimado(a) participante,

Como parte de los requisitos del programa de Doctorado en Ciencia del Comportamiento con Orientación en Neurociencias de la Universidad Autónoma de Guadalajara, llevo a cabo un proyecto de investigación, el cual trata sobre los *Correlatos electrofisiológicos y conductuales de la monitorización de errores propios y ajenos*. El objetivo del estudio es investigar las similitudes y diferencias tanto a nivel de variables conductuales como psicofisiológicas del proceso de detección de errores al ejecutar una tarea simple computarizada. Usted ha sido seleccionado para participar en la primera etapa de esta investigación. Su participación consistirá en asistir a dos sesiones. La primera con una duración aproximada de 45 minutos y la segunda de una hora. En la primera sesión contestará dos breves cuestionarios y una tarea computarizada sencilla. En la segunda sesión responderá a la segunda parte de la tarea computarizada mientras se realiza registro electroencefalográfico. Dada la naturaleza de la prueba y el hecho de que participarán en ella estudiantes que pueden ser sus compañeros, se le pide que se abstenga de hacer comentarios sobre su participación en la misma, o sobre el contenido de las escalas o los experimentos hasta que todos los participantes hayan concluido (al finalizar abril de 2013).

La información que se obtenga a través de la tarea y los cuestionarios será estrictamente confidencial y su nombre no será utilizado. Usted tiene el derecho de abandonar la investigación en cualquier momento sin necesidad de dar explicación o justificación alguna. El estudio no conlleva ningún tipo de riesgo. Al finalizar recibirá un pago aproximado de \$150 pesos. Los resultados del grupo estarán disponibles en un informe del cual usted puede recibir una copia si así lo desea. Si tiene alguna duda sobre la investigación, puede comunicarse conmigo por correo electrónico a [erwinvilluendas@hotmail.com](mailto:erwinvilluendas@hotmail.com) o con mi director de investigación, el Dr. Andrés Antonio González Garrido a la dirección electrónica [gonzalezgarrido@gmail.com](mailto:gonzalezgarrido@gmail.com).

**Investigador principal:** Mtro. Erwin Rogelio Villuendas González, estudiante de doctorado en el Laboratorio de Neurofisiología Clínica. Instituto de Neurociencias. Universidad de Guadalajara.

**Tutor de la investigación:** Dr. Andrés Antonio González Garrido, profesor investigador titular del Laboratorio de Neurofisiología Clínica. Instituto de Neurociencias. Universidad de Guadalajara.

He leído el procedimiento descrito arriba. El investigador me ha explicado el estudio y ha respondido a mis dudas. Voluntariamente, y sin presión alguna doy mi consentimiento para participar en el estudio de Erwin Rogelio Villuendas González sobre *Correlatos electrofisiológicos y conductuales de la monitorización de errores propios y ajenos*. He recibido copia de este consentimiento.

Nombre completo del participante (nombres y apellidos):

\_\_\_\_\_

Correo electrónico:

\_\_\_\_\_

Firma del Participante: \_\_\_\_\_ Fecha: \_\_\_\_\_