

ROL DE LA EMOCIÓN EN EL PROCESAMIENTO NEUROCOGNITIVO

Aproximación multinivel a la modulación de las funciones ejecutivas por
emociones

POR: CRISTIAN ANDRÉS CORTÉS RIVERA

Tesis presentada a la Facultad de Psicología de la Universidad del Desarrollo
para optar al grado académico de Doctor en Ciencias del Desarrollo y
Psicopatología

PROFESOR GUÍA:

Sr. Francisco Ceriá Garrido

Julio 2021

SANTIAGO

© Se autoriza la reproducción de fragmentos de esta obra para fines académicos o de investigación, siempre que se incluya la referencia bibliográfica.

DEDICATORIA

Este trabajo está dedicado a mis amados padres y hermanos, quienes me han brindado su amor y compañía durante la mayor parte de mi vida.

De igual forma, dedico esta semilla de esfuerzo y todo lo que me permita cosechar en el futuro a mi amada familia: Domínica, Rafael y Omar.

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, agradezco el gran apoyo y compañerismo de quien ha dirigido mi tesis, el profesor Dr. Francisco Ceriá G., a quien quisiera destacar por su gran calidad humana.

En segundo lugar, agradezco a los miembros de mi comisión de tesis doctoral, Dr. Jaime Silva C. y Dr. Carlos Cornejo A., quienes amablemente me han guiado y brindado su apoyo en la realización de este trabajo de investigación.

En tercer lugar, agradezco a las y los integrantes del Laboratorio de Neurociencia Afectiva (LaNA) de la Universidad del Desarrollo, quienes han contribuido de diversas y valiosas maneras a la realización de esta investigación.

En cuarto lugar, agradezco a las y los compañeras del Doctorado en Ciencias del Desarrollo y Psicopatología, quienes han sido pilares fundamentales para sostener mi crecimiento personal y profesional en estos años de múltiples desafíos.

En quinto lugar, agradezco a cada uno de los profesores y profesoras del Programa, como también, a cada uno de los colaboradores y colaboradoras de la Universidad, quienes hacen posible día a día sostener un valioso espacio educacional y de contribución científica que impacta en el ámbito nacional e internacional.

Finalmente, es importante mencionar que la presente tesis doctoral ha contado con el financiamiento del proyecto FONDECYT Regular N° 1171064, de la actual Agencia Nacional de Investigación y Desarrollo de Chile.

TABLA DE CONTENIDOS

DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTOS	iv
TABLA DE CONTENIDOS	v
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	viii
ÍNDICE DE TABLAS	ix
LISTA DE ABREVIATURAS	x
RESUMEN	xi
ABSTRACT	xii
1. INTRODUCCIÓN	1
2. OBJETIVOS	4
2.1. Objetivo general	4
3. HIPÓTESIS	5
3.1. Hipótesis general	5
3.2. Hipótesis específicas	5
4. MARCO TEÓRICO	6
4.1. Funciones ejecutivas: evidencia del procesamiento cognitivo	8
4.2. Emociones: más allá del rol en el procesamiento cognitivo y la conducta	13
4.3. Relación entre cognición y emoción	17

5. EXPERIMENTO 1	19
6. EXPERIMENTO 2	39
7. EXPERIMENTO 3	63
7.1. MÉTODOS	64
7.1.1. Participantes	64
7.1.2. Instrumentos y procedimientos	64
7.1.3. Análisis de datos conductuales	65
7.1.4. Análisis de datos electrofisiológicos	65
7.1.5. Consideraciones éticas	67
7.2. RESULTADOS	68
7.2.1. Resultados conductuales	68
7.2.2. Resultados electrofisiológicos	68
7.3. DISCUSIÓN	71
8. EXPERIMENTO 4	75
8.1. MÉTODOS	76
8.1.1. Participantes	76
8.1.2. Instrumentos y procedimientos	76
8.1.3. Análisis de datos conductuales	77
8.1.4. Consideraciones éticas	77
8.2. RESULTADOS	78

8.2.1.	Control inhibitorio	78
8.2.2.	Memoria de trabajo	78
8.2.3.	Flexibilidad cognitiva	79
8.3.	DISCUSIÓN	80
9.	CONCLUSIONES	84
10.	BIBLIOGRAFÍA	85

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Figura 5 – 1	38
Figura 6 – 1	48
Figura 6 – 2	58
Figura 7 – 1	70

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 6 – 1	47
Tabla 6 – 2	57
Tabla 8 – 1	79

LISTA DE ABREVIATURAS

ACC: accuracy

AWMA: Automated Working Memory Assessment

CI: control Inhibitorio

CF: cognitive flexibility

DCCS: dimensional change card sort

EF: executive functions

FC: flexibilidad cognitiva

FES: funciones Ejecutivas

ERPs: event-related potentials

GEST: gender/emotion switch task

IC: inhibitory control

PEP: pre-ejection period

PFC: prefrontal cortex

RSA: respiratory sinus arrhythmia

RT: reaction time

SNA: sistema nervioso autónomo

WCST: Wisconsin card sorting test

WM: Working Memory

RESUMEN

Tradicionalmente, las funciones ejecutivas han sido estudiadas utilizando tareas estructuralmente simples y sin precisar en la afectividad de sus estímulos. Además, la mayoría de estos estudios carecen de un paradigma experimental que combine resultados conductuales y neuroelectrofisiológicos. De esta forma, la presente tesis se elabora desde un paradigma multinivel que busca responder el principal objetivo de investigación, que es “Evaluar el efecto que presentan las distintas dimensiones afectivas de los estímulos visuales sobre el procesamiento neurocognitivo y la conducta, y la relación que existe entre estas variables ante una inducción de estrés”. Participaron de esta investigación estudiantes universitarios, quienes respondieron voluntariamente a dos condiciones de una misma tarea de funcionamiento ejecutivo, subdividida de acuerdo al nivel de saliencia y valencia emocional. Se utilizaron como tareas de funcionamiento ejecutivo versiones computarizadas de las tareas clásicas de control inhibitorio (Go/no-go), memoria de trabajo (1-back visuoespacial) y flexibilidad cognitiva (Dimensional Change Card Sort y Gender/Emotion Switch Task), evaluando las respuestas conductuales (velocidad y precisión de las respuestas) y la actividad neuroelectrofisiológica mediante registros electroencefalográficos y la técnica de evaluación de potenciales evocados. En primer lugar, los resultados derivados de esta investigación dan cuenta de una diferencia en el tiempo de respuesta de los sujetos cuando son enfrentados a dos versiones de una misma tarea, que difieren en la saliencia afectiva de sus estímulos, sin mostrar diferencias cuando se evalúan en términos de la valencia afectiva. Un segundo conjunto de resultados revelan que estas diferencias a nivel de desempeño conductual son acompañadas de diferencias en términos de la actividad neuroelectrofisiológica, evidenciando diferencias en la amplitud de potenciales evocados específicos cuando los estímulos difieren en términos de saliencia afectiva.

ABSTRACT

Traditionally, executive functions have been studied using structurally simple tasks and without specifying the affectivity of their stimuli. Moreover, most of these studies lack an experimental paradigm that combines behavioral and neuroelectrophysiological results. Thus, the present thesis is elaborated from a multilevel paradigm that seeks to answer the main research objective, which is "Evaluate the effect of different affective dimensions of visual stimuli on neurocognitive processing and behavior, and the relationship between these variables in the presence of a stress induction". University students who participated in this research, voluntarily responded to two conditions of the same executive functioning task, subdivided according to the level of salience and emotional valence. Computerized versions of the classical tasks of inhibitory control (Go/no-go), working memory (1-back visuospatial) and cognitive flexibility (Dimensional Change Card Sort and Gender/Emotion Switch Task) were used as executive functioning tasks, assessing behavioral responses (reaction times and accuracy of responses) and neuroelectrophysiological activity through electroencephalographic recordings and the assessment of the event-related potential technique. First, the results derived from this research show a difference in the reaction time of subjects when they are confronted with two versions of the same task, which differ in the affective salience of their stimuli, without showing differences when evaluated in terms of affective valence. The second set of results reveal that these differences in behavioral performance are accompanied by differences in terms of neuroelectrophysiological activity, evidencing differences in the amplitude of specific event-related potentials when stimuli differ in terms of affective salience.

1. INTRODUCCIÓN

Las funciones ejecutivas corresponden a una serie de subprocesos neurocognitivos responsables de la monitorización y regulación que utilizamos a diario en las actividades que requieren de tareas cognitivas complejas. El estudio de las funciones ejecutivas (FEs) ha sido abordado académicamente distinguiendo tres subprocesos neurocognitivos: la memoria de trabajo (más conocida como *working memory*, *WM*), el control inhibitorio (CI) y la flexibilidad cognitiva (FC). Además, de acuerdo a la literatura, este conjunto de funciones cognitivas alcanzan un mayor grado de madurez y estabilización durante la adolescencia.

Tradicionalmente, las FEs han sido estudiadas bajo contextos y utilizando estímulos de baja relevancia o escasa naturalidad para los voluntarios, quienes realizan por amplios períodos de tiempo las tareas experimentales. Sin embargo, esta situación ha ido cambiando en el transcurso de los últimos años, gracias a la realización de novedosas y relevantes investigaciones que han incorporado a la emoción como variable a estudiar.

Por su parte, las características emocionales de los estímulos presentados en cada una de las tareas de funcionamiento ejecutivo, como también los contextos en donde éstas se desenvuelven son posibles de organizar en diferentes dimensiones, de las cuales las más utilizadas son dos: la valencia, que indica la atribución positiva, negativa o neutra de una emoción, y la saliencia (*arousal*) que señala la magnitud de la emoción percibida (por ejemplo, de alta, media o baja intensidad). Gracias a esta clasificación, hoy en día sabemos que ciertos subprocesos al alero de las FEs se desempeñan peor o mejor durante las pruebas de evaluación, de acuerdo a sus atributos emocionales.

En base a lo anterior, se han abordado las siguientes preguntas de investigación:

1. ¿Cómo modula la emoción, más específicamente ciertas dimensiones afectivas (i.e., valencia y *arousal*), el desempeño de algunas tareas conductuales tradicionalmente utilizadas para evaluar los diferentes subprocesos neurocognitivos de las FEs?
2. ¿Cómo se percibe este efecto modulador sobre las FEs a nivel cognitivo, por ejemplo, a nivel de potenciales relacionados a eventos (ERPs)?
3. ¿Cómo se modifica esta modulación (de la emoción sobre las FEs) a nivel conductual y cognitivo en un contexto de estrés para los sujetos?

La presente investigación aporta evidencias sobre el rol que tienen las dimensiones de saliencia y valencia emocional durante tareas de evaluación de FEs. Esto se ha logrado haciendo uso de un diseño experimental que permite transitar por dos niveles. El nivel conductual, evaluado a partir del desempeño de los sujetos en ciertas tareas de FEs, y el nivel neurocognitivo, evaluado a partir de los registros electroencefalográficos de los sujetos durante la resolución de las pruebas de FEs. Adicionalmente, esta investigación aporta algunas evidencias sobre el papel que tiene el contexto (específicamente, una situación de estrés social) durante la resolución de tareas que evalúan los diferentes subprocesos del funcionamiento ejecutivo.

Se espera que los resultados de esta investigación contribuyan al conocimiento sobre la relación existente entre los procesos cognitivos, emocionales y contextuales, dando también a conocer un diseño multinivel que permite abrir futuras posibles contribuciones en el campo de las neurociencias afectivas. Por otra parte, se pretende que cada una de las evidencias recabadas sean de utilidad en campos tales como la psicología educacional y la psicología clínica, donde los fenómenos a la base de las funciones ejecutivas son foco de gran demanda y atención.

La presente tesis elabora de manera correlativa cuatro experimentos que en su conjunto buscan responder a cada uno de los objetivos de investigación, para ello sigue la estructura que se menciona a continuación:

El primer experimento titulado “*Hot and Cool Executive Functions: Contribution of emotional salience and executive functions performance.*” presenta los antecedentes, resultados, la metodología y la discusión, en formato de artículo científico, abordando los dos primeros objetivos específicos de investigación.

El segundo experimento titulado “*Modulación afectiva de la flexibilidad cognitiva: un estudio conductual y electrofisiológico.*” presenta los antecedentes, resultados, la metodología y la discusión, en formato de artículo científico, abordando principalmente el tercer y cuarto objetivo específico de investigación.

El tercer experimento titulado “*Modulación conductual y electrofisiológica de la memoria de trabajo por emoción.*” presenta los resultados, la metodología y la discusión, abordando principalmente y de manera complementaria el segundo y cuarto objetivo específico de investigación.

Por último, el cuarto experimento titulado “*Modulación conductual de las funciones ejecutivas por emoción en una situación de estrés.*” presenta los resultados, la metodología y la discusión, abordando esencialmente y de manera parcial el quinto objetivo específico de investigación.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo general

Evaluar el efecto que presentan las distintas dimensiones afectivas de los estímulos visuales sobre el procesamiento neurocognitivo y la conducta, y la relación que existe entre estas variables ante una inducción de estrés.

2.2. Objetivos específicos

1. Evaluar el efecto de la valencia de los estímulos afectivos sobre el desempeño de tareas que miden funciones ejecutivas, utilizando los tiempos de reacción y la precisión como variables respuesta.
2. Evaluar el efecto del nivel de saliencia (*arousal*) de los estímulos afectivos sobre el desempeño de tareas que miden funciones ejecutivas, utilizando los tiempos de reacción y la precisión como variables respuesta.
3. Evaluar el efecto de la valencia de los estímulos afectivos sobre componentes de ERPs de latencia específica, utilizando la amplitud como variable respuesta.
4. Evaluar el efecto de los niveles de saliencia de los estímulos afectivos sobre componentes de ERPs de latencia específica, utilizando la amplitud como variable respuesta.
5. Evaluar la influencia que tiene la inducción de estrés sobre la relación que existe entre las dimensiones afectivas de los estímulos y las respuestas conductuales y neurofisiológicas de los sujetos.

3. HIPÓTESIS

3.1. Hipótesis general

Las distintas dimensiones afectivas de los estímulos visuales modulan significativamente el procesamiento neurocognitivo y la conducta, en tareas de funcionamiento ejecutivo, relación que se amplifica significativamente en un contexto de estrés.

3.2. Hipótesis específicas

1. Estímulos de valencia negativa impactan significativamente sobre el desempeño de tareas que miden funciones ejecutivas, con menores tiempos de reacción y menor precisión en la respuesta.
2. Estímulos con mayores niveles de saliencia emocional impactan significativamente sobre el desempeño de tareas que miden funciones ejecutivas, con mayores tiempos de reacción y mayor precisión en la respuesta.
3. Estímulos de valencia negativa modulan significativamente la amplitud de ERPs de latencia baja y media.
4. Estímulos con mayores niveles de saliencia emocional modulan significativamente la amplitud de ERPs de latencia media y alta.
5. La inducción de estrés incrementa significativamente la relación que existe entre las dimensiones afectivas de los estímulos visuales evaluados y las respuestas conductuales y neurofisiológicas de los sujetos.

4. MARCO TEÓRICO

Es posible distinguir en nuestras vidas principalmente dos fenómenos de dominio intrapsíquico: cognición y emoción (Robinson et al., 2013b). La naturaleza de ambos fenómenos es subjetiva, ya que éstos son atribuibles y evidenciados únicamente por aquel que los manifiesta (Chalmers, 2010). Asimismo, ambos dependen en alguna medida de los eventos que ocurren en el ambiente de quien los experimenta (Singer & Salovey, 1999). Por otra parte, cognición y emoción han sido extensamente conceptualizados como dos fenómenos que se encuentran al servicio de la acción (Storbeck & Clore, 2007).

Clásicamente, la cognición se ha referido a *“todo el proceso por el cual la entrada sensorial es transformado, reducido, elaborado, guardado, recuperado y utilizado”* (Neisser, 1967). Particularmente, la cognición es el proceso por el cual conocemos el medio en el cual nos desenvolvemos día a día. Este proceso está conformado por subprocesos como la percepción, la atención, la memoria, e incluso a aspectos como la intuición y la ideación (Parvizi & Damasio, 2001). Por otro lado, ha sido conceptualizada como todo aquello que experimentamos y que depende estrechamente del funcionamiento del cerebro, y precisamente este vínculo es de principal interés para la neurociencia cognitiva (Squire et al., 2009). En consecuencia, gracias a su estudio hoy sabemos que ciertas estructuras del cerebro presentan un rol característico para la consciencia. Por ejemplo, a partir del estudio de pacientes con lesiones cerebrales, sabemos que ciertas porciones del sistema talamocortical son esenciales para determinar los contenidos de la experiencia consciente (Tononi & Edelman, 1998).

Además, la cognición es un fenómeno multifacético cuyo estudio ha sido abordado desde diferentes disciplinas. Así, desde una perspectiva filosófica, Chalmers (2010) señala que para desarrollar una ciencia de la consciencia es necesario integrar sistemáticamente dos diferentes tipos de información. Por un

lado, es relevante acceder a información en primera persona, es decir, información sobre la experiencia subjetiva. Por otro lado, es necesario acceder a información en tercera persona o información acerca de los procesos cerebrales y la conducta del sujeto. A continuación, se desarrolla cada aspecto en detalle.

Información en primera persona. Corresponde a datos fenomenológicos sobre las experiencias subjetivas de los sistemas conscientes. Esta información es registrada atendiendo a los informes verbales (autorreporte) sobre las experiencias de los sujetos evaluados, o bien, monitoreando nuestra propia experiencia subjetiva. Al respecto, esta información corresponde a pensamientos, imagerías, experiencias perceptuales, corporales y emocionales, entre otros fenómenos subjetivos (Chalmers, 2010).

Información en tercera persona. Comprende aquellos datos sobre el comportamiento y los procesos cerebrales de los sistemas conscientes. Tradicionalmente, esta información ha sido registrada atendiendo a la discriminación perceptiva, informes verbales y mediciones directas de los procesos neurofisiológicos que atañen a los sujetos evaluados. Además, estos datos proporcionan evidencia comúnmente utilizada en los estudios de neurociencia y psicología cognitiva (Chalmers, 2010).

Uno de los aspectos claves de la cognición es permitir guiar la conducta de manera intencionada (procesamiento *top-down*), habitualmente con el propósito de alcanzar una meta. En la literatura, este proceso cognitivo particular recibe el nombre de funcionamiento o control ejecutivo y se diferencia de los procesamiento automáticos que guían la conducta (procesamiento *bottom-up*) determinados por la naturaleza de los estímulos percibidos (Miller & Wallis, 2009).

4.1. Funciones ejecutivas: evidencia del procesamiento cognitivo

Las funciones ejecutivas (FEs) corresponden a un set de procesos neurocognitivos *top-down* que sustentan la acción, el pensamiento y la regulación de la emoción (Perone et al., 2018). Éstas son necesarias para organizar secuencias complejas de comportamiento, priorizar en el cumplimiento de metas y submetas, y superar problemas cotidianos (Miller & Wallis, 2009). Asimismo, las FEs se manifiestan como una serie de procesos neurocognitivos que inciden en la solución de problemas, la atención y el establecimiento de objetivos (Bunge & Souza, 2009). Por otra parte, las FEs pueden ser entendidas como habilidades, en tanto que son esenciales para la salud física y mental, el éxito académico y social, y el desarrollo adaptativo del sujeto (Diamond, 2013).

Tradicionalmente, el estudio de las FEs ha sido abordado distinguiendo tres subprocesos neurocognitivos. En primer lugar, la memoria de trabajo (WM, acrónimo del inglés *working memory*) corresponde al proceso utilizado para mantener y manipular un conjunto finito de información consciente por un período acotado de tiempo. En segundo lugar, el control inhibitorio (CI) es el proceso que permite actuar en base a un objetivo determinado, a pesar de la distracción suscitada. En tercer lugar, la flexibilidad cognitiva (FC) corresponde al proceso utilizado para cambiar entre distintas maneras o esquemas de pensamiento en beneficio del cumplimiento de una tarea (Diamond, 2013; Perone et al., 2018).

Puesto que estos tres subprocesos actúan de manera conjunta y muchas veces indiferenciable a nivel neurocognitivo (Jurado & Rosselli, 2007), no es posible encontrar pruebas consensuadas (*gold standard*) que permitan evaluar los mecanismos neurales de las FEs. Sin embargo, para este propósito se han desarrollado diferentes tareas conductuales que examinan diferencias individuales en el desempeño y que guardan una clara relación con cada una de las FEs. Al respecto, es posible encontrar en la literatura tareas que evalúan la

capacidad de actualizar el contenido de la memoria de trabajo (WM), la capacidad de inhibir una respuesta conductual predominante (CI) y la capacidad de orientar el comportamiento hacia la resolución de una tarea (FC) (Banich, 2009).

A continuación, se presentan en detalle los tres subprocesos de las FE, abordando las medidas tradicionalmente utilizadas para su evaluación conductual y las áreas cerebrales implicadas en su procesamiento cognitivo.

Memoria de trabajo. Proceso neurocognitivo que permite mantener información no perceptual cognitivamente accesible y mentalmente operable (Diamond, 2013). En la literatura, es posible distinguir dos clases de WM, de acuerdo a si el contenido procesado es de tipo verbal (i.e., WM fonológico) o no verbal (i.e., WM visuo-espacial) (Baddeley, 2003). Asimismo, es posible encontrar en la literatura algunas tareas que permiten evaluar conductualmente la WM de manera específica. Por ejemplo, el test *Backward-digit span*, que consiste en vocalizar ciertos ítems en orden inverso, puede ser utilizado para medir WM fonológico si a lo anterior se añade el reordenamiento de los ítems de acuerdo a una regla de categorización distinta (e.g., ordenar los ítems por tamaño o forma) (Diamond, 2013). De igual manera, el test *Corsi Block*, que implica tocar una serie de bloques en el mismo orden que fueron previamente tocados por un instructor, ha sido extensamente utilizado para medir WM visuo-espacial (Lezak et al., 2004). Más aún, existe una variante computarizada de esta tarea desarrollada por Bialystok (Feng et al., 2007), y de ambos tipos de WM en la batería de evaluación *Automated Working Memory Assessment (AWMA)* (Alloway et al., 2004). Por otra parte, se distingue como base neural para el procesamiento de la WM el sistema prefrontal-parietal de la corteza cerebral, lo que facultó permanecer selectivamente focalizado sobre información contenida en la mente, dejando de lado pensamientos irrelevantes, acercándose con los hallazgos sobre estudios de atención selectiva (Awh & Jonides, 2001; Gazzaley & Nobre, 2012). Análogamente, se ha señalado a la corteza prefrontal dorsolateral como región

involucrada en el procesamiento de contenido verbal y no verbal asociado a la WM (Goldman-Rakic, 1995).

Control inhibitorio. Proceso neurocognitivo que posibilita comprometer nuestra conducta, atención, pensamientos y/o emociones selectivamente y por sobre predisposiciones internas o estímulos ambientales relevantes (Diamond, 2013). Particularmente, a nivel perceptual, el CI de la atención se manifiesta en instancias de procesamiento *top-down* en donde es utilizado para atender, o bien, ignorar estímulos ambientales específicos dado un propósito o necesidad particular (Chao & Knight, 1995). Por otra parte, a nivel de representaciones mentales, el CI es mencionado en la literatura como inhibición cognitiva, y corresponde al proceso neurocognitivo utilizado para restringir pensamientos o memorias no deseadas, deteniendo su recuperación desde el hipocampo (Anderson & Levy, 2009). Asimismo, la inhibición cognitiva estaría involucrada en un proceso de interferencia proactiva o retroactiva de información, es decir, provocando resistencia a las entradas cognitivas consideradas no deseadas respecto a las representaciones mentales adquiridas con anterioridad (Postle et al., 2004). Ahora bien, en muchas circunstancias ciertos cursos de acción tienen que ser inhibidos para permitir el surgimiento de comportamientos dirigidos a metas. En este sentido, ciertas características observables detrás del CI de la conducta (e.g., latencia de la respuesta motora) permitirían estudiar las consecuencias conductuales y neurofisiológicas de este procesamiento neurocognitivo (Bari & Robbins, 2013). Por ejemplo, entre las medidas psicológicas de CI ampliamente utilizadas se encuentra la tarea *Stroop*, que consiste en presentar una palabra referida a un color (e.g., verde) escrita en un color diferente al de la palabra exhibida (e.g., rojo). Así, cuando a los sujetos se les pide ignorar el significado de la palabra, priorizando atender y reportar únicamente el color de su escritura, éstos presentan una disminución en su desempeño conductual (MacLeod, 1991). Otra forma de evaluar el CI es

mediante la tarea *go/no-go*, la cual requiere que los sujetos presionen un botón (*go*) cada vez que un estímulo aparezca e inhiban su respuesta (*no-go*) ante la presentación de un estímulo particular (Mazuka et al., 2009). A diferencia de la tarea *Stroop* que permite evaluar el CI a nivel atencional, la tarea *go/no-go*, evalúa una dimensión conductual del CI respecto a una respuesta planificada (Bari & Robbins, 2013). En este sentido, es posible atribuir una base neural diferenciada a estas dos dimensiones de procesamiento neurocognitivo, siendo la corteza prefrontal (PFC, acrónimo del inglés *prefrontal cortex*) quien juega un rol principal de CI (entre otros procesos neurocognitivos) sobre las demás regiones cerebrales. La PFC, a través de conectividad inhibitoria competitiva con regiones subcorticales y de la neocorteza, facilita la excitación de áreas de procesamiento relevantes para cumplir con una tarea de CI atencional. De igual forma, la PFC mediante proyecciones excitatorias con el núcleo subtalámico y la participación del giro frontal inferior derecho, favorece la interrupción de respuestas motoras prematuras o impulsivas, participando en el procesamiento del CI conductual (Frank, 2006; Munakata et al., 2011).

Flexibilidad cognitiva. Proceso neurocognitivo que hace posible una gran variedad de cambios a nivel cognitivo, y que se encuentra relacionado con procesos de *set shifting*, cambio de tarea (*task switching*) y creatividad (Diamond, 2013). La FC se construye en base al desarrollo previo de la WM y el CI, respectivamente (Best & Miller, 2010), donde el CI es utilizado para inhibir (o desactivar) esquemas mentales previos en función de cargar (o activar) nuevos esquemas en la WM (Diamond, 2013). Uno de los aspectos donde opera la FC se refiere al cambio de pensamiento, por ejemplo, relacionado a la manera de enfrentar un problema matemático de manera distinta cuando la primera forma utilizada no contribuyó en su resolución. Asimismo, la FC posibilita realizar cambios en la perspectiva espacial, por ejemplo, cuando un fotógrafo imagina la mejor posición para el encuadre de un retrato, o de la perspectiva interpersonal,

por ejemplo, cuando se decide empatizar con otra persona. Además, la FC favorece adaptarnos a los cambios en las demandas o prioridades que nos exige el ambiente y, por otro lado, ser lo suficientemente flexibles para admitir un error o aprovechar las súbitas oportunidades que pudiesen aparecer en el transcurso de nuestras vidas (Diamond, 2013). Tradicionalmente, la FC se ha evaluado con una amplia variedad de tareas, entre las que destaca el clásico *Wisconsin Card Sorting Task*, que consiste en ordenar una secuencia de cartas por número, color o forma, lo que irá cambiando a lo largo de la tarea y que deberá ser deducido por el sujeto evaluado de acuerdo a la retroalimentación de sus respuestas por el investigador (Mountain & Snow, 1993; Nyhus & Barceló, 2009). De igual forma, la tarea *Dimensional Change Card Sort* (DCCS) desarrollada por Zelazo y colaboradores constituye una de las formas más simples de evaluar FC. Ésta consiste en ordenar ciertos estímulos visuales de acuerdo a un criterio bivalente, en donde la respuesta correcta para una tarea (e.g., color azul o rojo) es incorrecta para la otra (e.g., forma de auto o flor), criterio de respuesta que cambia sólo una vez durante toda la prueba (Zelazo et al., 1996; Zelazo et al., 2003). Al respecto, las tareas de *set shifting* y cambio de tarea han sido extensamente utilizadas para evaluar daños en la función de la PFC (Alvarez & Emory, 2006; Miller & Wallis, 2009). Por ejemplo, se ha señalado que la activación del área ventrolateral prefrontal medial en conjunto con regiones subcorticales (ganglios basales, núcleo caudado y tálamo) es necesaria para el cambio cognitivo requerido para responder adecuadamente en una tarea WCST (Monchi et al., 2001).

Por otra parte, existe evidencia conductual de las diferencias en el desempeño de tareas que evalúan FEs de acuerdo al nivel motivacional que otorga el contexto (Peterson & Welsh, 2014; Zelazo, 2015), donde el nivel motivacional alude al concepto de carga emocional. Por tanto, esta última es quien otorga la temperatura al procesamiento de FEs. En este sentido, ha sido posible distinguir

aspectos “calientes” de las FEs que emergen únicamente en contextos motivacionalmente significativos, en comparación a aquellos aspectos “fríos” que han sido los tradicionalmente evaluados en contextos de laboratorio. A saber, dichos estudios han puesto el énfasis en cómo la interacción entre la cognición y la emoción guía el comportamiento, señalando un aspecto altamente relevante en los contextos de la ecología humana (Perone et al., 2018).

4.2. Emociones: más allá del rol en el procesamiento cognitivo y la conducta

Desde el valioso trabajo de Charles Darwin (1872/1965), a la fecha es posible encontrar en la literatura una extensa lista de autores que se han interesado en el estudio científico de las emociones (Kleinginna & Kleinginna, 1981). De esta forma, no solo es posible sino esperable encontrar distintos matices entre las definiciones y conceptualizaciones que se han dado sobre este constructo en la literatura. El mismo Darwin en su libro *The Expression of the Emotions in Man and Animals* presentó su particular visión sobre las emociones, al señalar que éstas son vestigios de una nuestra historia evolutiva que ya no presentan un valor evolutivo (Darwin, 1965). Asimismo, hace más de un siglo William James se preguntó “¿Qué son las emociones?”, al respecto diría “*las únicas emociones que propongo expresamente a tener en cuenta aquí son aquellas que tienen una expresión corporal*” (James, 1884, p.189), señalando que sería justamente esta manifestación corporal la “expresión” o “lenguaje natural” de la emoción y, que “*sin los estados corporales que siguen a la percepción, esta última sería puramente cognitiva en forma, pálida, incolora, destituida de calor emocional*” (James, 1884, p.190), rescatando la importancia que presenta la conducta humana en torno a los procesos afectivos (i.e., expresión emocional).

Años más tarde, Antonio Damasio (1999) presentaría un argumento similar al de William James (1884), señalando que la emoción constituye una respuesta corporal o cerebral frente ante un evento percibido, a su vez, añadiendo que el

sentimiento (emocional) corresponde a una consecuencia neurobiológica de esta respuesta. En contraste, autores como Langer y Langer (1967) e Izard (2009) proponen que los sentimientos no serían una consecuencia de la actividad neurobiológica o expresión conductual de la emoción, sino más bien una fase de estas respuestas. Además, este último autor precisaría que los sentimientos pueden ser afectados o gatillados por procesos de *appraisal*, perceptuales y conceptuales, pero nunca originados por éstos mismo (Izard, 1993). Ahora bien, aunque no existe acuerdo en la literatura sobre si los sentimientos preceden (o no) a la expresión conductual y actividad neurobiológica asociada a una emoción, un principio comúnmente aceptado es que los sentimientos son un componente clave de la psicología relacionada a la cognición y la emoción (Izard, 2009).

Además, es posible encontrar cierto consenso en la literatura respecto a que las emociones poseen una base neurobiológica que incluye sistemas dedicados, al menos en parte, a su procesamiento (Izard, 2009). Estas estructuras clásicamente han sido reconocidas como parte del sistema límbico, sin embargo, se reconocen ciertas limitaciones de naturaleza empírica que hacen de este concepto poco aplicable (cf., Kötter & Meyer, 1992). Actualmente, el énfasis se ha trasladado al rol que presentan estructuras específicas sobre la respuesta corporal asociada a la emoción (i.e., expresión emocional). Al respecto, gracias a estudios en animales no humanos, se ha evidenciado cómo el núcleo lateral de la amígdala, que recibe información perceptual desde el tálamo y la corteza cerebral, se conecta con la región central de la amígdala y el hipotálamo, para luego conectarse con grupos específicos de neuronas motoras que controlarán las respuestas emocionales (LeDoux, 2009). Asimismo, se reconocen a otras regiones del sistema nervioso, entre ellas el tronco encefálico, ínsula, amígdala, cíngulo anterior y corteza orbitofrontal, como estructuras y circuitos cerebrales que actúan de manera coordinada para producir la experiencia (sentimiento) emocional (Damasio, 2003; Panksepp, 2003).

Por otra parte, autores que abogan por una perspectiva funcionalista, proponen que las emociones actúan como facilitadoras de la respuesta del organismo frente a las demandas del ambiente (e.g., Ekman, 2004; Lazarus & Smith, 1991; Levenson, 1994). Dentro de esta corriente teórica, se postula que una característica central de la emoción debiese ser la existencia de coherencia en la respuesta de los distintos sistemas participantes de un episodio emocional (Ekman, 1992; Fridja et al., 1992; Reisenzein, 2000; Scherer, 1984). Al respecto, Mauss et al. (2005), evidenciaron que ciertos sistemas de respuesta emocional se encuentran coordinados durante episodios emocionales. Específicamente, estos autores señalaron la existencia de cambios coordinados a nivel motor, cognitivo, de experiencia subjetiva y respuesta fisiológica periférica, evaluados durante episodios de diversión y tristeza desencadenados de manera audiovisual.

Es importante destacar que el estudio de la emoción se extiende por sobre la clásicamente estudiada respuesta cognitiva y conductual. En este sentido, en muchas teorías recientes se distingue al sistema nervioso autónomo (SNA) como un componente principal de la respuesta emocional (Kreibig, 2012). Al respecto, estructuras paraventriculares del mesencéfalo y prosencéfalo presentan un importante rol en la integración de respuestas conductuales complejas asociadas a los sistemas somáticos y autonómicos, por ejemplo, determinando la respuesta emocional de aversión (Carrive, 2009). Así, con el propósito de evaluar las diferentes respuestas emocionales asociadas a cambios en el SNA, se han utilizado extendidamente en la literatura mediciones de frecuencia cardíaca y actividad electrodérmica. Sin embargo, las mediciones de la frecuencia cardíaca no serían suficientemente informativas, debido a que el corazón estaría doblemente innervado por el sistema nervioso simpático y periférico. En consecuencia, recientemente se han seleccionado medidas más adecuadas como *respiratory sinus arrhythmia* (RSA) y *pre-ejection period* (PEP), las cuales

son más informativas de la influencia vagal y adrenérgica sobre el corazón, respectivamente (Kreibig, 2010).

Adicionalmente, un aspecto destacable del SNA es su actividad diferenciada de acuerdo a la valencia de la emoción evaluada y, a su vez, entre respuestas emocionales de una misma valencia (e.g., Ekman et al., 1983; Levenson et al., 1990). Al respecto, la valencia emocional hace referencia a un proceso que es declarado de manera consciente o inconsciente, y que obedece a las creencias y los objetivos actualmente activos de un sujeto que se desenvuelve en un contexto particular (Etkin et al., 2015; Sharot & Garrett, 2016). Así, se ha declarado al proceso valorativo como un componente central del episodio emocional, el cual es organizado por parámetros motivacionales en coordinación con respuestas fisiológicas (Bradley et al., 2001; Lang et al., 1993). En este sentido, Pessoa (2009) propone un modelo de competencia dual que explica cómo el proceso valorativo emocional modula (favorable o desfavorablemente) el procesamiento ejecutivo a través de la asignación de recursos atencionales. Por otra parte, el modelo señala cómo aspectos motivacionales, como la amenaza, calibran la asignación de recursos perceptuales disponibles para el procesamiento ejecutivo, a fin de maximizar la recompensa potencial, impactando finalmente sobre el desempeño conductual.

En consecuencia, surge interés por abordar cómo ciertos estímulos con características dispares, de acuerdo a su carga emocional (i.e., valencia y saliencia emocional), impactarían sobre el desempeño de tareas conductuales que evalúan los diferentes subprocesos neurocognitivos de las FEs y, a su vez, conocer cómo ocurre este procesamiento ejecutivo a nivel neurofisiológico (sistema nervioso central y periférico).

4.3. Relación entre cognición y emoción

Dentro de la literatura, es posible distinguir diferentes puntos de vista en cuanto a la posible relación entre cognición y emoción. Al respecto, dos prominentes investigadores podrían ser utilizados para ejemplificar esta diferencia. Por una parte, Zajonc (1980) postularía que cognición y afecto (emoción) constituyen “fuentes de efectos independientes en el tratamiento de la información” (p.151), a su vez, indicando que el afecto tendría un procesamiento prioritario en comparación a su contraparte cognitiva. Por otra parte, Bower (1981) señalaría que existe una evidente relación entre el procesamiento cognitivo y emocional, de tal manera que *“los efectos emocionales que hemos encontrado hasta ahora parecen comprensibles en términos de ideas que son habituales en la psicología cognitiva”* (p.147).

La existencia de estos dos puntos de vista se extendería años más tarde, donde importantes autores presentaron sus argumentos. Aquellos a favor de que el procesamiento cognitivo es dissociable de la emoción, se apoyaron sobre la idea de que, ante un escenario de amenaza, ciertas áreas del cerebro asociadas al procesamiento emocional pueden reaccionar antes que las áreas corticales relacionadas al procesamiento cognitivo (LeDoux, 1998). Asimismo, éstos señalaron que, en situaciones donde las regiones cerebrales relacionadas al procesamiento emocional se encuentran preservadas, existe evidencia en humanos (Damasio, 1994) y animales no humanos (Panksepp, 1998) de que ciertas lesiones corticales no tendrían un efecto observable en la conducta. En contraste, los autores que distinguen una clara relación entre el procesamiento emocional y cognitivo, presentaron evidencia de la superposición de actividad entre las estructuras cerebrales que realizan ambos tipos de procesamiento, tanto a nivel funcional (Duncan & Barrett, 2007) como temporal (Izard, 2009).

Actualmente, si bien es posible vislumbrar esta controversia, han surgido otros puntos de vista más parsimoniosos y que transitan entre ambas líneas de evidencia. En este sentido, Robinson, Watkins y Harmon-Jones (2013) señalan que, si bien el procesamiento cognitivo y emocional son individualmente distinguibles, usualmente los sistemas neurales encargados de ambas funciones se encuentran en interacción. Así, para acceder fenomenológicamente a un sentimiento (experiencia emocional) y ser capaces de expresarlo y/o reportarlo, es necesario que ocurran al mismo tiempo ambos tipos de procesamiento. Por lo tanto, cognición y emoción se considerarán como procesos al menos no iguales pero que funcionan de manera interdependiente, es decir, éstos pueden ser diferenciados, aunque trabajen de manera coordinada. Ahora bien, más allá de precisar en su definición o procesamiento, en términos generales se podría señalar que *“los conceptos de “cognición” y “emoción” son, después de todo, simples abstracciones de dos aspectos de nuestro cerebro al servicio de la acción”* (Storbeck & Clore, 2007, p.1213).

5. EXPERIMENTO 1

Hot and Cool Executive Functions: Contribution of emotional salience and executive functions performance.

A continuación, se presenta el artículo científico titulado “*Hot and Cool Executive Functions: Contribution of emotional salience and executive functions performance.*”, el cual se encuentra en calidad de enviado en la revista *Psychological Research*. Los resultados de este experimento contribuyen al cumplimiento de los siguientes objetivos específicos de investigación:

1. Evaluar el efecto de la valencia de los estímulos afectivos sobre el desempeño de tareas que miden funciones ejecutivas, utilizando los tiempos de reacción y la precisión como variables respuesta.
2. Evaluar el efecto del nivel de excitación (*arousal*) de los estímulos afectivos sobre el desempeño de tareas que miden funciones ejecutivas, utilizando los tiempos de reacción y la precisión como variables respuesta.

Hot and Cool Executive Functions: contribution of emotional salience and executive functions
performance

Cristian Cortés-Rivera ¹, Andrea Mira ^{1,2} & Rodrigo Arroyo¹. Francisco Ceriá ^{1*}.

¹ Laboratorio de Neurociencia Afectiva, Centro de Apego y Regulación Emocional. Facultad de Psicología,
Universidad del Desarrollo. Santiago, Chile.

² Escuela de Terapia Ocupacional, Facultad de Ciencias de la Rehabilitación, Universidad Andrés Bello.
Santiago, Chile.

*Corresponding Author: Dr. Francisco Ceriá

Address: Av. Las Condes 12641, edificio 3, oficina 306, Las Condes, Santiago, Chile.

E-mail: fceric@udd.cl

Phone: + 56 9 95798584

ORCID: 0000-0002-5526-3399

Abstract

Executive Functions (EF) correspond to a set of higher-order neurocognitive functions responsible for executing a task, controlling and monitoring mental functions involved in its execution, and the modulation of attentional processing. The current trend highlights three subcomponents of EF: Working Memory (WM), Inhibitory Control (IC), and Cognitive Flexibility (CF). Recent studies suggest that emotional aspects of a task modulate EF, a phenomenon known as "hot EF" in contrast with traditional "cooler EF" tasks of low emotional content. However, there is a lack of evidence regarding the role of emotional content in the three EF subcomponents' modulation. This study aimed to elucidate if different levels of emotional salience of stimuli can affect the three EF subcomponents differentially and how this could be observed in terms of reaction time and accuracy of EF tasks' responses. To perform this, we develop two tasks with high and low emotional salience for every EF component using classical and widely used tasks adapted for computational recordings, in hot or cool versions, which were applied to 92 participants. Our data show that higher salience of the stimuli improves the accuracy and also the reaction time in visual WM. Moreover, behavioral differences in IC and CF tasks were found. These findings provide valuable insight into how stimuli' emotional salience can differentially affect EF subcomponents' processing, complementing and extending EF's traditional neuropsychological approach.

1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26
27
28
29
30
31
32
33
34
35
36
37
38
39
40
41
42
43
44
45
46
47
48
49
50
51
52
53
54
55
56
57
58
59
60
61
62
63
64
65

Declarations

Funding

This work was supported by CONICYT under Grant FONDECYT Regular 1171064 and 1212036.

Conflicts of interest

All the authors declare to have no conflicts of interest to disclose.

Availability of data and material (data transparency)

No available data.

Ethics approval

The institutional ethics committee approved each experimental procedure, and all participants gave informed consent before completing the screening surveys and laboratory evaluation. Participants were compensated with a healthy snack for their participation.

Introduction

Executive functions (EF) are a set of higher-order neurocognitive functions with a supramodal nature, involved in conscious control of thoughts and actions (Anderson, 1998; Banich, 2009; Zelazo & Müller, 2002), which are prerequisites for carrying out a task, controlling and monitoring the mental functions involved in its execution and modulating attentional processing (Banich, 2019; Miyake & Friedman, 2012). Different aspects of EF have been described; however, the current trends highlight three functions as the fundamental pieces, which as a whole can be involved in tasks of greater completeness. This model is constructed on neurobiological findings that support the idea that the prefrontal cortex supports three primary functions that allow higher-order executive functioning: a) Working Memory, b) Inhibitory Control, and c) Cognitive Flexibility (Anderson, 2002; Diamond, 2013; Nigg, 2017). This model is based on a hierarchical order concerning the increasing complexity of these functions, a complexity given by the demand of maturation process and neurocognitive resources (Anderson, 2002; Buckner, 2004; Diamond, 2013).

In this sense, the function that is described as the primary component of EF is Working Memory, which is the ability that allows us to hold and operate mentally with information that is not perceptually present (Baddeley & Hitch, 1994) and involves keeping only relevant information by replacing outdated content (Berger, Richards, & Davelaar, 2017). There are two principal Working Memory types: verbal working memory and non-verbal or visual-spatial working memory (Baddeley, 2003). This function is crucial for many activities or tasks, like doing math or understanding a sentence or paragraph. In the next level of complexity, there is the Inhibitory Control function, which allows us to regulate impulses or internal predispositions, old habits of thought or actions, or responses to stimuli in the environment that could divert the attention to another task (Diamond, 2013). This control enables to display of more adaptive behaviors to do what is more appropriate or needed in a particular context. There are different aspects of Inhibitory Control, one is cognitive inhibition, which is a neurocognitive process that enables the suppression of thoughts or memories (Anderson & Levy, 2009), and the other one is the inhibition of action related to the inhibition of a strong response tendency to favor the behaviors that can favor goal-directed behaviors (Diamond, 2013). The most complex function is cognitive flexibility, which is consolidated later in development, is built on the two functions above. (Davidson et al., 2006; Garon, Bryson, & Smith, 2008). This function refers to the ability to adapt to changes in the demands of creating and using different strategies (Anderson, 2002; Diamond, 2013). It also allows to make and tolerate transitions to get a better response to changes in demands or priorities, using the ability to alternate between different cognitive frameworks and change the attentional focus (Diamond & Lee, 2011; Kortte et al., 2002).

These three functions are not easy to assess, even though there has been significant development of different strategies to access these skills. In this way to assess working memory under experimental conditions, one of the most used paradigms is the n-back (Kirchner, 1958; Soveri, Antfolk, Karlsson, Salo & Laine, 2017), which consists in the presentation of a sequence of stimuli and the participants must remember when any of them was presented a certain number of times before. For example, if the task is 1-back, the participant must indicate if the same stimulus was presented in the previous trial. If it is 2-back, the participant must

1 indicate when the stimulus has been presented in two previous trials. In the case of inhibitory control,
2 different tasks have been used.

3
4 Nevertheless, the most used are the Stroop test, Go/No-Go, and Stop Signal tasks. The above two are the
5 tasks most frequently used to assess inhibition of motor responses and consist of the interruption of the
6 preponderant response to a specific rule or signal (Baguetta & Alexander, 2016; Diamond, 2013). One of
7 the measures that are often used to measure Cognitive Flexibility is the Dimensional Change Card Sort
8 (DCCS) task (Zelazo, 2006; Zelazo, 2015), which is part of the National Institutes of Health Toolbox for
9 the Assessment of Neurological and Behavioral Function (Bauer & Zelazo, 2014; Zelazo et al., 2013). In
10 that test, participants are asked to sort cards by one dimension (color or shape), and then, they have to sort
11 the cards by the other dimension (Diamond, 2013). It is essential to mention that although three types of
12 EF functions are distinguished, with differentiated neurocognitive substrates or that at an experimental
13 level, they are tried to be isolated to evaluate them, they work in an integrated way at a daily level (Van der
14 Linden et al., 2000; Diamond & Lee, 2011).

15
16 For a long time, EF has been studied using abstract and decontextualized problems that reduced or even a
17 total lack of affective, emotional, or motivational components, emphasizing "cooler" cognitive features
18 (Zelazo & Carlson, 2012). Most laboratory measures of EF, including measures of cognitive flexibility,
19 working memory, and inhibitory control, assess the cool aspects of EF (Zelazo, 2015), that can bring some
20 limitations to the understanding of EF, primarily because people constantly interact with a physical and
21 social environment that entails important emotional aspects.

22
23 To a broader comprehension of EF, recent research has included top-down control processes that operate
24 in motivationally and emotionally significant situations, which has been called "hot EF" (Zelazo & Müller,
25 2002). For a better understanding of EF, it is relevant to describe both cool and hot EF. The cool EF refers
26 to the more specific cognitive skills, like working memory, inhibition, and cognitive flexibility elicited by
27 low motivational tasks (O'Toole, Monks, Tsermentseli & Rix, 2018), and they also support goal-directed
28 behavior under more decontextualized conditions and without emotional salience (Peterson & Welsh, 2014;
29 Prencipe et al., 2011). On the other hand, hot EF refers to aspects that emerge in motivationally significant
30 contexts, such as evaluating rewards or handling peer pressure or learning from gains and losses (Peterson
31 & Welsh, 2014; Zelazo & Carlson, 2012; Zelazo & Müller, 2002). They are needed in situations related to
32 emotions, motivation, or conditions that produce conflict between term immediate rewards and long-term
33 goals (Lensing & Elsner, 2018).

34
35 Moreover, studies of hot EF emphasize the interaction of cognition and emotion in guiding behavior, being
36 these skills highly relevant in real-world contexts (Perone, Almy & Zelazo, 2018). They depend in part on
37 neural networks involving more ventral and medial regions of the prefrontal cortex (and pathways involving
38 mesolimbic reward circuitry, including amygdala and striatum), are usually assessed in tasks that require
39 the flexible reappraisal of whether to approach or avoid a salient stimulus (Zelazo, 2015). Some of these
40 evaluations include delay of gratification (which involves avoiding a more salient immediate reward and
41 approaching a less salient delayed reward) and the Children's Gambling Task (Kerr & Zelazo, 2004), a
42 simplified version of the Iowa Gambling Task (Bechara, Damasio, Damasio, & Anderson, 1994; Brevers,
43 Bechara & Noël, 2013), in which the options that at first appear advantageous (higher rewards) are revealed

1 gradually to be disadvantageous (higher rewards but even higher losses), and vice versa. Hot and cool EF
2 usually work together as part of a more adaptive function solving real-world problems. Even though both
3 represent higher-level forms of deliberate, effortful, top-down, self-regulatory processing that depends on
4 similar brain regions, they differentiate in the extent to which they require managing motivation and
5 emotion, including the goal-directed management of basic approach and avoidance motivations (Zelazo &
6 Carlson, 2012). Some studies have reported facilitating effects of emotional information in working
7 memory performance, though others report impairing effects (Baddeley, 2012; Ribeiro, Albuquerque &
8 Santos, 2018; Garrison & Schmeichel, 2019). The relevance of emotion in improving performance in an
9 executive function task is because while it recruits information, additional processing (emotional
10 processing) is added, while in tasks where emotion is irrelevant, neurocognitive resources are subtracted to
11 solve the task by systems competition (Berger, Richards, & Davelaar, 2017).
12
13
14
15
16
17
18

19 In this study, we were interested in elucidating if the motivational level of stimuli, with high salience level
20 at cognitive processes measured by EF tasks, would be observed in reaction times and the accuracy of the
21 responses. In other words, we aimed to develop tasks with high and low emotional salience for every EF
22 component (i.e., working memory, inhibitory control, and cognitive flexibility) to evaluate differences at
23 the behavioral level. We used typical EF tasks adapted for computational recordings in hot or cool versions
24 to address this aim, applied them to a normative adult sample who present neurobiological maturity and
25 stability in the evaluated EF components. The central theoretical model of this study is based on the fact
26 that the "temperature" of EFs depends on the emotional or affective load of the process (Peterson & Welsh,
27 2014). The hot EFs refer to those that involve an emotional salience, generating a less reflective and more
28 automatic global cognitive process with rapid but rigid responses that are more difficult to modulate (Zelazo
29 & Carlson, 2012).
30
31
32
33
34
35
36

37 Regarding the above, there is evidence in the literature on the differential response that exists on EF
38 performance when involving or not emotional load (cold versus hot effect), both in children and adults
39 (Euler, Sterzer, & Stadler, 2014; Inzlicht, Bartholow, & Hirsh, 2015). Thus, considering the crucial role
40 that EFs represent in cognitive processing, they should not be understood as static and preconceived
41 processes to be cold (cool EF) or hot. Instead, they should be understood as flexible processes -in terms of
42 execution- and adapted to respond, like sensitive to changes in the context. For example, in the IQ
43 component, emotional motivation is the main regulatory component (Kramer, Lagattuta, & Sayfan, 2015)
44
45
46
47
48

49 The general aim of this study is to demonstrate that cold or hot executive functions can be tempered
50 according to how the emotional salience of stimuli is manipulated and, in this way, to oppose a polarized
51 conception of EF, where affectivity or emotional salience is presented as a separable aspect of the cognitive
52 process, evidencing a reductionist view of the cognitive process. At the experimental level, the research
53 objective is to demonstrate that the three components of EF can be regulated by emotion, extending the
54 traditional neuropsychological approach of EF.
55
56
57
58
59
60
61
62
63
64
65

Method

Subjects

Ninety-two subjects participated in this study, with a mean age of 22.30 years old ($SD = 5.62$). The sample was constituted by university students, divided into two groups randomly assigned. Both groups were mainly composed of women (70.09%). Subjects must have no presence or history of learning disabilities, intellectual/motor/sensory disability, or uncorrectable visual problems.

Measures and Procedures

The tasks were designed to consider the presence of stimuli with higher emotional salience (hot EF) or lower emotional salience (cold EF). An initial set of images and words (hot and cold), in the first instance, were selected and analyzed by three experts. In a second instance, the stimuli were evaluated by a group of volunteers similar to the study group. Each of the initial stimuli was evaluated by 16 volunteers concerning its emotional salience (through a Likert scale). After this procedure, the final stimuli were selected, using the lowest and highest deciles of salience ratings. For the stimuli of photographs of faces with emotional expressions, we used a set previously validated for the population of our country (Ceric, 2012; Carbonell, & Ceric, 2017). Reaction times and response accuracy were registered in all tests.

Working Memory Tasks

Auditive n-back. This test was an adaptation of the task used by Kirchner (1958) that required listening to a sequence of simple CVCV word sounds (Spanish word made by consonant-vowel-consonant-vowel) to detect when repetition occurs. Our adaptation created two experimental sequences: a "cold" version with target words of low emotional salience and a hot version with target words of high emotional salience. For the hot version, the high salience stimuli were the highest scoring words in the evaluation phase; for example, Spanish words such as "mamá" (mother in English), while the low salience version used Spanish words such as "pala" (shovel in English). For the general procedure, subjects had to listen to the sequence of words and press a key as soon as they detected a repetition of the previously presented word. The task was composed of 80 trials randomly presented individually, of which 20 were targets (repetitions). Each trial showed a fixed cross per 800 ms followed by a black screen per 700 ms associated with an auditory stimulus. Participants were asked to respond as quickly as possible.

Visuospatial n-back. An adaptation of a test traditionally employed to assess WM in the adult population (Kirchner, 1958) was used. In the original, one or more objects are presented on a screen for a short period, after which the subject must indicate their location. In our adaptation, the task was presented with a 3x3 grid, where a stimulus randomly appears in one of the nine possible positions for 1000 ms. Two experimental versions were created: the cold version sequence with target objects of low emotional salience and a hot version sequence with high emotional salience target objects. For the hot version, the object was

a red character expressing anger, based on a known character from a well-known cartoon, while in the cold version, the stimuli presented was a red irregular geometric figure similar to the shape of the previous character. The subjects had to press a key as soon as they detected a repetition of the previously presented location of the stimulus. The task was composed of a sequence of 80 trials (in each version) randomly presented on an individual basis, of which 20 were targets (repetitions). Participants were asked to respond as quickly as possible. (Figure 1).

---Insert Figure 1 here ---

Inhibitory Control Tasks

Go/No-Go Task. This task requires the subjects to press a key each time a visual stimulus was presented (go) and to inhibit their response (no-go task) when a different stimulus appears (Mazuka, Jincho, & Oishi, 2009). The Go/No-Go task assesses a behavioral dimension of Inhibitory Control concerning a planned response (Bari & Robbins, 2013). Two versions were created: the cold version, in which the visual stimuli of low emotional salience were numbers (4, 6, 7, etc.). In this version, participants saw a sequence of stimuli where they had to press the key number "4" when the number four was presented on the screen and not press when a number other than "4" was displayed. For the hot version (high emotional salience), "emoticon" type stimuli were used with neutral and emotional expressions instead of numbers. In this version, they had to press the "4" key when a neutral expression emoticon appeared and not press when a non-neutral expression emoticon (with emotional expressions) was presented. The overall task was composed of 80 randomly presented single trials, 20 of which included a target. A fixed cross was displayed every 800 ms in each trial, followed by a visual stimulus (cold or hot) for 1000 ms, and then a black screen for 500 ms. Participants were asked to respond as quickly as possible.

No-Go/Go Task. This task that was developed for this study is a reverse version of the previous Inhibitory Control task. This one requires that the subjects inhibit their response (no-go) each time the visual stimuli appear and to press the key (go) against the appearance of a particular stimulus. The No-Go/Go task assesses a behavioral dimension of Inhibitory Control according to a planned response. This task allows us to distinguish an impulsive response of the assessed subjects according to their responses. As in the previous tasks, two versions were created: one with high emotional salience (hot) in which the stimuli were simple emojis and one with low emotional salience (cold) in which the stimuli were letters. In the cold version, participants were required to respond by pressing a specific key when letters (r, t, etc.) were presented and do not press the response key only when the letter "p" was presented. For the hot version, participants responded by pressing the key when different emojis were presented (dad, mom, etc.) but not when a baby emoji appeared. The task was composed of 80 randomly presented individual trials, of which 20 were targets. Each trial displayed a fixed cross every 800 ms, followed by a visual stimulus every 1000 ms, and then a black screen every 500 ms. Participants were asked to respond as quickly as possible.

Cognitive Flexibility Tasks

The Dimensional Change Card Sorting (DCCS) is a continuous image recognition task designed by Zelazo (2006). As in the previous experiments, two versions were created. The task in the cold version was the original one, where the stimuli were colored geometric figures. For this version, participants were presented with a single image in one of two possible colors (blue or red) with one of two possible shapes (circle or rhombus). This experiment consists of 3 phases; in the first phase (training), the subject must respond according to the color rule; press the "4" key on the numeric keypad if the image is red or press the "6" key if the image is blue. In a second phase (training), the subject must respond according to the shape rule; press the "4" key if the image is a circle or press the "6" key if the image was a rhombus. In a third phase (task), the participants were shown a sequence of images to which the participants had to respond according to the shape rule, but if a white frame delimits the image, the subject had to respond according to the color rule. In our adaptation, for the hot version, the geometric figures stimuli (low emotional salience or cold) were changed to two images: a simplified form of a "danger skull" and an image similar to a well-known cartoon character, which had the highest evaluations in the validation stage. These images had the same color and shape pattern as the cold version.

The overall task was composed of 80 individually randomly presented trials, of which 26 were targets (white framed images). Each trial displayed a fixed cross every 800 ms, followed by a visual stimulus every 2000 ms, and then a black screen every 500 ms (Figure 1).

Gender Emotion Social Task (GEST). Initially designed by de Vries & Geurts (2012), this task required hypothesis testing, systematic visual search, and face recognition. The task was composed of 80 trials randomly presented on an individual basis. Each trial showed: (1) a fixed cross per 500 ms, (2) a cue per 800 ms, (3) a black screen per 500 ms, (4) a photograph of a human face (corresponding to the target) until response, and (5) a black screen per 500 ms (Figure 1). The cue refers to how the subject should respond in the photograph. The subject was instructed to select among two alternatives, exactly matching the standardized face photograph. For the cold version (low salience stimuli), if the cue refers to the gender, the subject must answer whether the photograph corresponds to a woman (by pressing the key number 4) or a man (by pressing the number key 6). If the cue refers to the color of the photograph, the subject must answer whether the photograph is in grey tones (by pressing the key number 4) or if the photograph is colored (by pressing key number 6). When the cue refers to the photograph's color, the hot version is replaced by a cue that refers to the emotionality of the face. In this case, the subject must answer whether the face is happy (by pressing key number 4) or if the face is angry (by pressing key number 6).

Procedure

After answering a sociodemographic questionnaire in the present study, each subject was individually tested for auditory n-back, visuospatial n-back, Go/No-Go, No-Go/Go, DCCS, and GEST. For this purpose, two groups of participants were formed. The first group was presented with the six tests, three of them in the cold version and the other three in the hot version. The second group of participants was also presented with the six tests, but the opposite versions to group 1. For example, if group 1 was shown the cold version of the DCCS test, group 2 was shown the warm version. This way ensures that the cold version is performed by one group and the hot version by the other so that a between comparison can be made for each test. This type of design allows participants to alternate cold and hot version trials, which better counterbalances the carry-over effect that emotional arousal can have.

The administration of the entire EF task sequence was performed in a controlled environment in terms of temperature and light conditions, using E-Prime version 2.0 software, requiring a maximum session duration of 50 minutes per participant.

Analysis

Data were analyzed using SPSS Statistics software version 21 (IBM Corp., 2012). An independent t-test was used to examine differences between groups. Due to the aim of the study, this analysis allows us to identify if there were significant differences between the participant's performance in tasks with low versus high salience stimuli.

Ethical procedures

The institutional ethics committee approved each experimental procedure, and all participants gave informed consent before completing the screening surveys and laboratory evaluation. Participants were compensated with a healthy snack for their participation.

Results

For each test, measures of reaction time and response accuracy were recorded in terms of specific performance according to the instructions of each test. The statistical analysis is elementary because the performance in each test will be compared between the two groups, the group that performed the cold version with the group that performed the hot version, with a group comparison test (t-test for independent samples).

Working Memory

There were considered the answers of 90 subjects in the working memory tasks, having a sample lost of two participants because they did not answer the task. In the Auditive N-back task, there were no significant differences between the group who performed a task with high salience stimuli and the group with low salience significant stimuli, in both accuracy ($t(84) = .08, p = .94$) and reaction time ($t(87) = -.74, p = .46$). A different result was observed in the Visuospatial N-Back, where there was a significant difference between groups concerning accuracy in their responses ($t(88) = 2.40, p < .05$). The group that had to respond to high salience stimuli showed better performance ($M = 98.37, SD = 4.84$) than the other group with low salience stimuli ($M = 93.85, SD = 11.75$). Regarding the reaction time, there was a significant difference between both groups ($t(88) = -4.01, p < .001$), showing a faster response in the group that had to answer tasks with high salience stimuli ($M = 385.86$ ms, $SD = 62.39$ ms) compared with the group's low salience stimuli ($M = 453.62$ ms, $SD = 95.37$ ms).

Inhibitory Control

We analyzed the subjects' accuracy in every inhibitory control task, comparing the performance in tasks with low versus high salience stimuli. In these tasks, there were considered the responses of 91 subjects. For the No-Go/Go task, we also recorded the reaction time in both conditions. Regarding accuracy in both tasks (Go/No-Go and No-Go/Go), there were no significant differences between the mean of both groups ($t(89) = -.14, p = .89$). Nevertheless, in the No-Go/Go task there was a difference ($t(89) = -4.66, p < .001$) between the reaction time means of the group with high salience significant stimuli ($M = 428.04$ ms, $SD = 42.96$ ms) and low salience stimuli ($M = 473.21$ ms, $SD = 48.80$ ms).

Cognitive Flexibility

In the dimensional change card sorting task, 88 subjects performed the test, with a sample loss of 4 participants. In this task we had a significant difference between the means of accuracy in both groups ($t(86) = 2.56, p = .012$), showing better performance the group that answered the task with high salience stimuli ($M = .94, SD = .08$) than the group with low salience stimuli ($M = .89, SD = .13$). However, there were no significant differences in reaction time ($t(86) = -.83, p = .41$). In the Social Gender Emotion Task, 92 subjects performed the test. In this test, we had no significant difference between the accuracy of the two groups ($t(90) = .49, p = .63$). However, there was a significant difference regarding reaction time ($t(90) = 2.82, p = .006$) when comparing group means with high salience stimuli ($M = 815.59$ ms, $SD = 269.93$ ms) and with low salience stimuli ($M = 679.05$ ms, $SD = 189.39$ ms). In other words, the group that responded to the task with low-salience stimuli performed faster on the task.

Discussion

In this study, we were interested in detecting the impact of the emotional salience of the stimuli in both accuracy and reaction time of the subjects' performance in EF tasks. For this aim, we adapted and programmed some standard EF tests that involved three levels of cognitive complexity (working memory, inhibitory control, and cognitive flexibility). In each of these tests, the emotional salience of stimuli was manipulated, which allows us to temper the tasks.

We found that the participants responded faster and more precision in the visual working memory tasks with stronger emotional salience. These results point out that emotions work as a facilitator due to their attentional salience (Lindström & Gunilla Bohlin, 2011). Regarding the auditory working memory tasks, where the subjects had to listen to a sequence of simple words and then detect when repetition occurs, the emotional salience showed no impact in accuracy and reaction time. These results evidenced the need to develop a better understanding of the auditory working memory because most of the previous research has focused on visual working memory (Luck & Vogel, 2013), and this can allow us to design more precise ways to assess these skills, considering the crucial role that the phonological processing has in auditory working memory tasks.

Regarding inhibitory control, the results showed that the subjects had a faster response in the No-Go/Go tasks when the stimuli had a stronger emotional salience, and this faster response did not affect the accuracy of their performance. We can hypothesize that the emotional salience of the stimuli can mobilize the subjects' motivational disposition to capture attentional resources during the task (Compton, 2003). This more significant amount of resources manages to facilitate the reaction time that participants need to stop the inhibition of an action when required, without interfering with how the tasks are executed.

Despite the emotional salience of the stimuli, in both tasks (Go/No-Go and No-Go/Go), the subjects had a high rate of accuracy in their performance. This performance can be explained because the tasks required more automatic processes than more complex cognitive functions (Diamond, 2013); in the same way, answering these tasks may not be influenced by the presence or not of emotional information in the stimuli. In other words, this automatic process is not being modulated by the emotions related to the tasks; this can have an adaptive value due to the economy of resources, using only what is needed to perform the task.

Through this experimental design, we observed that emotional salience generates a differentiated response in the tasks constructed to assess cognitive flexibility (Qu & Zelazo, 2007). In the DCCS task, a stronger emotional salience favors a better accuracy, showing an improving execution in those tasks without differences in reaction time between both groups. Nevertheless, the opposite pattern was observed in GEST, where the participants did not evidence a difference in their accuracy, but the subjects performing the tasks with a mild emotional salience were faster than the other group. Even though there was a difference between both groups, it is essential to emphasize that the emotional salience did not affect the participants' efficacy.

We can hypothesize that the difference observed in the cognitive flexibility tasks results for precision and reaction time can be explained due to the EF's impurity problem (Miyake, Emerson, & Friedman, 2000). Even though the tests design had the same core feature: the presence of two rules that must be differentiated and used when they corresponded, some differences in how the rules are presented to the subjects. In this

1 sense, GEST has a sequential design, and the rules are presented before the subjects have to answer to the
2 stimuli, requesting the use of working memory for the execution of the task. On the other hand, the test
3 based on DCCS has a design with the rules and the targets on the same screen, demanding the use of
4 resources related to inhibitory control.
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26
27
28
29
30
31
32
33
34
35
36
37
38
39
40
41
42
43
44
45
46
47
48
49
50
51
52
53
54
55
56
57
58
59
60
61
62
63
64
65

In general, the tests used in our study were not sufficiently resolute, especially in terms of accuracy. This effect may have been because they were easy to perform, generating a ceiling effect, which did not differentiate between hot and cold conditions. With our results, where sensitivity was not enough to show differences in all performance levels of each test, it could also be inferred that other variables could be interfering in the cognitive processing of emotionally salient stimuli, which is aligned with the results reported in other works on inhibitory control (Zamora, Vernucci, del Valle, et al., 2020). Another possible limitation, more specific to our study, is that, although the judges evaluated each stimulus in terms of its emotional salience, the frequency of its use could have affected each test (especially at the recognition level), specifically the test with emoticons. However, in the latter, emoticons were used for the different conditions.

At the applied level, our results help us demonstrate that EF components are a flexible process, so it is critical to consider that the context or, as in this case, the emotional salience of the stimuli contained in the tests affects performance. At the cognitive processing level, in this study, the attentional focus was manipulated with bottom-up stimuli. These results will directly impact how we evaluate and follow the development of EF at the neurocognitive level, how the tests are constructed, and what we are studying when we see EF. Our results would support other similar reports where designs considering emotional cues were used, such as the emotional Stroop, where the differential effect of emotionally charged stimuli on interference has been found in pathological and non-pathological subjects (Besnier, Richard, Zendjidian, et al., 2009; Huang, Su, & Ma, 2020).

A stronger emotional salience in the stimuli of the tasks can represent more information for the subjects; nevertheless, this study supports the idea that emotions can improve some EF tasks performance. These results, as a whole, aim to support the hypothesis of segregated but interdependent pathways at the cognitive processing level when an emotional component is present (Adolphs, Tranel, & Damasio, 2003; Cerić, 2012; Compton, 2003). Nevertheless, in future studies, we should address stimuli with different emotional valence and with different intensities to detect the possible differences in the subjects' performance. In the same way, the study should be done in a more ecological context.

References

- Adolphs R., Tranel D., & Damasio A. R. (2003). Dissociable neural systems for recognizing emotions. *Brain and Cognition*, 52(1), 61–69. [https://doi.org/10.1016/S0278-2626\(03\)00009-5](https://doi.org/10.1016/S0278-2626(03)00009-5)
- Anderson, M. C., & Levy, B. J. (2009). Suppressing unwanted memories. *Current Directions in Psychological Science*, 18(4): 189-194. <https://doi.org/10.1111/j.1467-8721.2009.01634.x>
- Anderson, P. (2002). Assessment and development of executive function (EF) during childhood. *Child Neuropsychology*, 8(2): 71–82. <https://doi.org/10.1076/chin.8.2.71.8724>
- Anderson, V. (1998). Assessing executive functions in children: Biological, psychological, and developmental considerations. *Assessment of Attention and Executive Function*, 8(3): 319–349. <https://doi.org/10.1080/713755568>
- Baddeley, A. (2003). Working memory: Looking back and looking forward. *Nature Reviews Neuroscience*, 4(10), 829-839. <https://doi.org/10/bz2gwb>
- Baddeley, A. (2012). How does emotion influence working memory? in *Attention, Representation, and Human Performance: Integration of Cognition, Emotion, and Motivation*, eds S. di Mascio, D. Y. Dai, and A. Naceur. New York, NY: Psychology Press, 3–18.
- Baddeley, A. D., & Hitch, G. J. (1994). Developments in the concept of working memory. *Neuropsychology*, 8(4), 485. <https://doi.org/10.1037/0894-4105.8.4.485>
- Baggetta, P., & Alexander, P. A. (2016). Conceptualization and operationalization of executive function. *Mind, Brain, and Education*, 10(1), 10-33. <https://doi.org/10.1111/mbe.12100>
- Banich, M. T. (2009). Executive function: The search for an integrated account. *Current directions in psychological science*, 18(2), 89-94. <https://doi.org/10.1111/j.1467-8721.2009.01615.x>.
- Bari, A., & Robbins, T. W. (2013). Inhibition and impulsivity: behavioral and neural basis of response control. *Progress in neurobiology*, 108, 44-79. <https://doi.org/10.1016/j.pneurobio.2013.06.005>.
- Bauer, P. J., & Zelazo, P. D. (2014). The National Institutes of Health Toolbox for the Assessment of Neurological and Behavioral Function: A Tool for Developmental Science. *Child Development Perspectives*, 8(3), 119–124. <https://doi.org/10.1111/cdep.12080>
- Bechara, A., Damasio, A. R., Damasio, H., & Anderson, S. W. (1994). Insensitivity to future consequences following damage to human prefrontal cortex. *Cognition*, 50(1-3), 7–15. [https://doi.org/10.1016/0010-0277\(94\)90018-3](https://doi.org/10.1016/0010-0277(94)90018-3)
- Berger, N., Richards, A., & Davelaar, E. J. (2017). When emotions matter: Focusing on emotion improves working memory updating in older adults. *Frontiers in Psychology*, 8(SEP), 1–13. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2017.01565>
- Besnier, N., Richard, F., Zendjidian, X., Kaladjian, A., Mazzola-Pomietto, P., Adida, M., & Azorin, J. M. (2009). Stroop and emotional Stroop interference in unaffected relatives of patients with

- schizophrenic and bipolar disorders: Distinct markers of vulnerability?. *The World Journal of Biological Psychiatry*, 10(4-3), 809-818. <https://doi.org/10.1080/15622970903131589>.
- Björn R. Lindström & Gunilla Bohlin (2011) Emotion processing facilitates working memory performance, *Cognition and Emotion*, 25:7, 1196-1204. <https://doi.org/10.1080/02699931.2010.527703>
- Brevers, D., Bechara, A., Cleeremans, A., & Noël, X. (2013). Iowa Gambling Task (IGT): twenty years after-gambling disorder and IGT. *Frontiers in psychology*, 4, 665. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2013.00665>
- Buckner, R. L. (2004). Memory and executive function in aging and AD: multiple factors that cause decline and reserve factors that compensate. *Neuron*, 44(1), 195-208. <https://doi.org/10.1016/j.neuron.2004.09.006>
- Carbonell, I. M. C., & Ceric, F. (2017). Reconocimiento de emociones de expresiones faciales en adultos con trastorno de hiperactividad con déficit de atención. *Estudios de Psicología*, 38(1), 243-257. <https://doi.org/10.1080/02109395.2016.1268387>
- Cerić, F. (2012). Ruta rápida versus ruta lenta: evidencias electrofisiológicas y conductuales de las vías del procesamiento emocional. *Estudios de Psicología*, 33(3), 385-388. <https://doi.org/10.1174/021093912803758200>
- Compton R. J. (2003). The Interface Between Emotion and Attention: A Review of Evidence From Psychology and Neuroscience. *Behavioral and Cognitive Neuroscience Reviews*. 2 (2): 115-129. <https://doi.org/10.1177/1534582303002002003>
- Debbané, M., & Fonseca-Pedrero, E. (2016). Nuevas aproximaciones en el estudio de las propiedades psicométricas del STAI. *Actas Esp Psiquiatr*, 44(3), 83-92.
- de Vries, M., & Geurts, H. M. (2012). Cognitive flexibility in ASD; task switching with emotional faces. *Journal of autism and developmental disorders*, 42(12), 2558-2568. <https://doi.org/10.1007/s10803-012-1512-1>
- Davidson, M. C., Amso, D., Anderson, L. C., & Diamond, A. (2006). Development of cognitive control and executive functions from 4 to 13 years: Evidence from manipulations of memory, inhibition, and task switching. *Neuropsychologia*, 44(11), 2037-2078. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2006.02.006>
- Diamond, A. (2013). Executive functions. *Annual review of psychology*, 64, 135-168. <https://doi.org/10.1146/annurev-psych-113011-143750>
- Diamond, A., & Lee, K. (2011). Interventions shown to aid executive function development in children 4 to 12 years old. *Science*, 333(6045), 959-964. <https://doi.org/10.1126/science.1204529>
- Euler, F., Sterzer, P., & Stadler, C. (2014). Cognitive control under distressing emotional stimulation in adolescents with conduct disorder. *Aggressive behavior*, 40(2), 109-119. <https://doi.org/10.1002/ab.21508>.

- Garrison, K. E., & Schmeichel, B. J. (2019). Effects of emotional content on working memory capacity. *Cognition and Emotion*, 33(2), 370-377. <https://doi.org/10.1080/02699931.2018.1438989>
- Gathercole, S. E., Pickering, S. J., Knight, C., & Stegmann, Z. (2004). Working memory skills and educational attainment: Evidence from national curriculum assessments at 7 and 14 years of age. *Applied Cognitive Psychology: The Official Journal of the Society for Applied Research in Memory and Cognition*, 18(1), 1-16. <https://doi.org/10.1002/acp.934>
- Garon, N., Bryson, S. E., & Smith, I. M. (2008). Executive function in preschoolers: a review using an integrative framework. *Psychological Bulletin*, 134(1), 31. <https://doi.org/10.1037/0033-2909.134.1.31>
- Hofmann, W., Schmeichel, B. J., & Baddeley, A. D. (2012). Executive functions and self-regulation. *Trends in cognitive sciences*, 16(3), 174-180. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2012.01.006>
- Huang, Y., Su, L., & Ma, Q. (2020). The Stroop effect: An activation likelihood estimation meta-analysis in healthy young adults. *Neuroscience letters*, 716, 134683. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-02266-2>.
- Inzlicht, M., Bartholow, B. D., & Hirsh, J. B. (2015). Emotional foundations of cognitive control. *Trends in Cognitive Sciences*, 19(3), 126-132. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2015.01.004>
- Kerr, A., & Zelazo, P. D. (2004). Development of "hot" executive function: The children's gambling task. *Brain and cognition*, 55(1), 148-157. [https://doi.org/10.1016/S0278-2626\(03\)00275-6](https://doi.org/10.1016/S0278-2626(03)00275-6)
- Kirchner, W. K. (1958). Age differences in short-term retention of rapidly changing information. *Journal of Experimental Psychology*, 55(4), 352-358. <https://doi.org/10.1037/h0043688>
- Kortte, K. B., Horner, M. D., & Windham, W. K. (2002). The trail making test, part B: cognitive flexibility or ability to maintain set?. *Applied neuropsychology*, 9(2), 106-109. https://doi.org/10.1207/S15324826AN0902_5
- Kramer, H. J., Lagattuta, K. H., & Sayfan, L. (2015). Why is happy-sad more difficult? Focal emotional information impairs inhibitory control in children and adults. *Emotion*, 15(1), 61. <https://doi.org/10.1037/emo0000023>
- Lensing, N., & Elsner, B. (2018). Development of hot and cool executive functions in middle childhood: three-year growth curves of decision making and working memory updating. *Journal of experimental child psychology*, 173, 187-204. <https://doi.org/10.1016/j.jecp.2018.04.002>
- Luck, S. J., and Vogel, E. K. (2013). Visual working memory capacity: from psychophysics and neurobiology to individual differences. *Trends Cogn. Sci.* 17, 391-400. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2013.06.006>
- Mazuka, R., Jincho, N., & Oishi, H. (2009). Development of executive control and language processing. *Language and Linguistics Compass*, 3(1), 59-89. <https://doi.org/10.1111/j.1749-818X.2008.00102.x>

- Miyake, A., Emerson, M. J., & Friedman, N. P. (2000). Assessment of executive functions in clinical settings: Problems and recommendations. In *Seminars in speech and language*, 21(02), 0169-0183. <https://doi.org/10.1055/s-2000-7563>
- Miyake, A., & Friedman, N. P. (2012). The nature and organization of individual differences in executive functions: Four general conclusions. *Current Directions in Psychological Science*, 21(1), 8–14. <https://doi.org/10.1177/0963721411429458>
- Nigg, J. T. (2017). Annual Research Review: On the relations among self- regulation, self- control, executive functioning, effortful control, cognitive control, impulsivity, risk- taking, and inhibition for developmental psychopathology. *Journal of child psychology and psychiatry*, 58(4), 361-383. <https://doi.org/10.1111/jcpp.12675>
- Van der Linden, M., Meulemans, T., Marczewski, P., & Collette, F. (2000). The relationships between episodic memory, working memory, and executive functions: The contribution of the prefrontal cortex. *Psychologica Belgica*, 40(4), 275-297. <http://doi.org/10.5334/pb.967>
- Perone, S., Almy, B., & Zelazo, P. D. (2018). Toward an understanding of the neural basis of executive function development. In *The Neurobiology of Brain and Behavioral Development* (pp. 291-314). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-804036-2.00011-X>
- Peterson, E., & Welsh, M. C. (2014). The development of hot and cool executive functions in childhood and adolescence: Are we getting warmer?. In *Handbook of executive functioning* (pp. 45-65). Springer, New York, NY.
- O'Toole, S. E., Monks, C. P., Tsermentseli, S., & Rix, K. (2018). The contribution of cool and hot executive function to academic achievement, learning-related behaviours, and classroom behaviour. *Early Child Development and Care*, 1-16. <https://doi.org/10.1080/03004430.2018.1494595>
- Qu, L., & Zelazo, P. D. (2007). The facilitative effect of positive stimuli on 3-year-olds' flexible rule use. *Cognitive Development*, 22(4), 456-473. <https://doi.org/10.1016/j.cogdev.2007.08.010>
- Ribeiro, F. S., Albuquerque, P. B., & Santos, F. H. (2018). Relations between emotion and working memory: evidence from behavioural and psychophysiological studies. *Psicologia Em Estudo*, 23, 1-17. <https://doi.org/10.4025/psicolestud.v23.e35734i>
- Soveri, A., Antfolk, J., Karlsson, L., Salo, B., & Laine, M. (2017). Working memory training revisited: A multi-level meta-analysis of n-back training studies. *Psychonomic Bulletin & Review*, 24(4), 1077-1096. <https://doi.org/10.3758/s13423-016-1217-0>.
- Zamora, E. V., Vernucci, S., del Valle, M., Introzzi, I., & Richard's, M. M. (2020). Assessing cognitive inhibition in emotional and neutral contexts in children. *The Educational and Developmental Psychologist*, 37(1), 56-66. <https://doi.org/10.1017/edp.2020.4>
- Zelazo, P. D. (2006). The Dimensional Change Card Sort (DCCS): A method of assessing executive function in children. *Nature protocols*, 1(1), 297. <https://doi.org/10.1038/nprot.2006.46>

1 Zelazo, P. D. (2015). Executive function: reflection, iterative reprocessing, complexity, and the developing
2 brain. *Developmental Review*, 38, 55-68. <https://doi.org/10.1016/j.dr.2015.07.001>

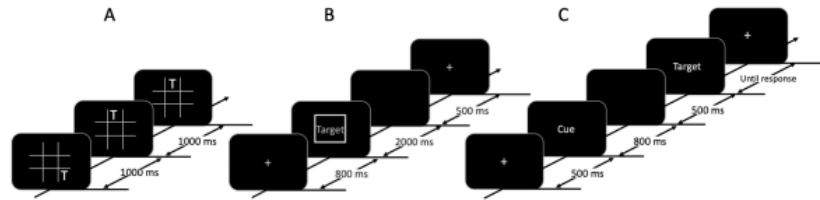
3
4 Zelazo, P. D., & Müller, U. (2002). Executive function in typical and atypical development. Blackwell
5 Handbook of Childhood Cognitive Development, 445-469.
6 <https://doi.org/10.1002/9780470996652.ch20>
7

8
9 Zelazo, P. D., & Carlson, S. M. (2012). Hot and cool executive function in childhood and adolescence:
10 development and plasticity. *Child Development Perspectives*. <https://doi.org/10.1111/j.1750->
11 [8606.2012.00246.x](https://doi.org/10.1111/j.1750-8606.2012.00246.x)
12

13
14 Zelazo, P. D., Anderson, J. E., Richler, J., Wallner- Allen, K., Beaumont, J. L., & Weintraub, S. (2013). II.
15 NIH Toolbox Cognition Battery (CB): Measuring executive function and attention. *Monographs*
16 *of the Society for Research in Child Development*, 78(4), 16-33.
17 <https://doi.org/10.1111/mono.1203>
18
19
20
21
22
23
24
25
26
27
28
29
30
31
32
33
34
35
36
37
38
39
40
41
42
43
44
45
46
47
48
49
50
51
52
53
54
55
56
57
58
59
60
61
62
63
64
65

Figure 1 Title and description

Figure 1 . Trial sequence with the duration of each event in milliseconds (ms). A) shows the experimental sequence for visual working memory, where the target can be hot (high emotional salience) or cold (low emotional salience). B) shows the sequence for cognitive flexibility of the DCCS test where the target can be hot or cold. In C) for GEST test sequence, the cue indicates how the subject should respond to the Target (photograph and photograph of a human face).

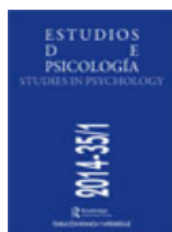


6. EXPERIMENTO 2

Modulación afectiva de la flexibilidad cognitiva: un estudio conductual y electrofisiológico.

A continuación, se presenta el artículo científico titulado “*Modulación afectiva de la flexibilidad cognitiva: un estudio conductual y electrofisiológico.*”, en calidad de publicado como primer autor. Los resultados de este experimento contribuyen al cumplimiento de los siguientes objetivos específicos de investigación:

1. Evaluar el efecto de la valencia de los estímulos afectivos sobre el desempeño de tareas que miden funciones ejecutivas, utilizando los tiempos de reacción y la precisión como variables respuesta.
2. Evaluar el efecto del nivel de excitación (*arousal*) de los estímulos afectivos sobre el desempeño de tareas que miden funciones ejecutivas, utilizando los tiempos de reacción y la precisión como variables respuesta.
3. Evaluar el efecto de los niveles de excitación de los estímulos afectivos sobre componentes de ERPs de latencia específica, utilizando la amplitud como variable respuesta.
4. Evaluar el efecto de la valencia de los estímulos afectivos sobre componentes de ERPs de latencia específica, utilizando la amplitud como variable respuesta.



Studies in Psychology
Estudios de Psicología



ISSN: (Print) (Online) Journal homepage: <https://www.tandfonline.com/loi/redp20>

Affective modulation of cognitive flexibility: a behavioural and electrophysiological study (*Modulación afectiva de la flexibilidad cognitiva: un estudio conductual y electrofisiológico*)

Cristian Cortés-Rivera & Francisco Cerić

To cite this article: Cristian Cortés-Rivera & Francisco Cerić (2020): Affective modulation of cognitive flexibility: a behavioural and electrophysiological study (*Modulación afectiva de la flexibilidad cognitiva: un estudio conductual y electrofisiológico*), Studies in Psychology, DOI: [10.1080/02109395.2020.1794719](https://doi.org/10.1080/02109395.2020.1794719)

To link to this article: <https://doi.org/10.1080/02109395.2020.1794719>



Published online: 07 Sep 2020.



Submit your article to this journal [↗](#)



View related articles [↗](#)



View Crossmark data [↗](#)

Full Terms & Conditions of access and use can be found at
<https://www.tandfonline.com/action/journalInformation?journalCode=redp20>



Affective modulation of cognitive flexibility: a behavioural and electrophysiological study (*Modulación afectiva de la flexibilidad cognitiva: un estudio conductual y electrofisiológico*)

Cristian Cortés-Rivera  and Francisco Ceriá 

Universidad del Desarrollo

ABSTRACT

Executive functions (EF) correspond to a general construct of high-order cognitive skills aimed at optimizing problem solving. The study of EF categorizes it into three sub-processes; of these three, cognitive flexibility (CF) stands out because of its later development and because it requires a greater amount of neurocognitive resources. In developing an affective understanding of EFs, recent research has outlined the existence of hot EFs, referring to processing skills used in situations that are motivationally and emotionally charged, contrasting with cold EFs, which refer to skills we use in abstract situations and when the affective component is minimal. The purpose of this research study is to explore how different levels of affective salience can modulate performance and processing through the application of a standard CF task. At the behavioural level, participants presented lower reaction times, and the accuracy of their responses was unaffected, under conditions of low affective salience. At the level of brain activity, they presented latencies related to early attention processing and greater occipital activation under conditions of high affective salience.

RESUMEN

Las Funciones Ejecutivas (FE) corresponden a un constructo general de habilidades cognitivas de alto orden orientadas a optimizar la resolución de problemas. El estudio de las FE ha sido abordado distinguiendo tres subprocesos, de los cuales la Flexibilidad Cognitiva (FC) destaca por su tardía maduración en el desarrollo y presentar una mayor demanda de recursos neurocognitivos. Al desarrollar una comprensión afectiva de las FE, investigaciones recientes señalan la existencia de FE calientes, refiriéndose al procesamiento que opera en situaciones que son motivacional y emocionalmente significativas, contrastando con FE frías que operan en situaciones abstractas y con una reducida incorporación del componente afectivo. A través de la aplicación de una tarea estándar de FC, la presente investigación busca comprender cómo distintos niveles de saliencia afectiva modularían el desempeño y procesamiento. A nivel conductual,

ARTICLE HISTORY

Received 29 January 2020
Accepted 25 March 2020

KEYWORDS

emotional processing;
emotion; ERP; cognitive
flexibility; gender emotion
switch task

PALABRAS CLAVE

procesamiento emocional;
emoción; ERP; flexibilidad
cognitiva; gender emotion
switch task

CONTACT Francisco Ceriá  fceria@udd.cl  Laboratorio de Neurociencia Afectiva, Centro de Apego y Regulación Emocional, Facultad de Psicología, Universidad del Desarrollo, Santiago, Chile

English version: pp. 1–10 / Versión en español: pp. 11–20

References / Referencias: pp. 20–22

Translation from Spanish / Traducción del español: Liza D'Arcy

© 2020 Fundación Infancia y Aprendizaje

los participantes presentaron mayor velocidad de reacción en condición de baja saliencia afectiva, sin afectarse la precisión de sus respuestas. A nivel de actividad cerebral, presentaron una mayor activación occipital en condición de alta saliencia afectiva en latencias relacionadas al procesamiento atencional temprano.

Executive functions

Executive functions (EF) are a set of top-down neurocognitive processes that support the regulation of action, thought and emotions (Perone, Almy, & Zelazo, 2018). They organize complex sequences of behaviour and prioritize actions and thoughts with the aim of achieving goals and secondary goals and dealing with everyday problems (Miller & Wallis, 2009). Likewise, EFs manifest as a series of neurocognitive processes that facilitate problem solving, attention processes and goal setting (Bunge & Souza, 2009). Furthermore, EFs can be understood to be a set of skills, as they are essential for physical and mental health, academic and social success, and the subject's adaptive development (Diamond, 2013).

The study of EF has traditionally been approached by distinguishing three neurocognitive sub-processes. These sub-processes are organized in a hierarchical order according to their increasing complexity, the maturation of the system and its demand for neurocognitive resources. The first is working memory (WM), which corresponds to the sub-process of maintaining and manipulating a finite set of conscious information for a limited period. Second is inhibitory control (IC), the process that allows an individual to act based on a certain objective and ignore any distractions during a task. Third, cognitive flexibility (CF) corresponds to the process used to switch between different thought forms or patterns in order to accomplish a task (Diamond, 2013; Perone et al., 2018).

Given that these three sub-processes act together and are often indistinguishable at the neurocognitive level (Jurado & Rosselli, 2007), until now it has not been possible to find consensus-based evidence (gold standard) to evaluate the neural mechanisms that are the basis of EF. However, as a response to this, different behavioural tasks have been developed that examine individual performance differences and which are clearly related to each of the EF sub-processes. On this basis, it is possible to find in the literature tasks that evaluate the ability to retain mental content (WM), inhibit a behavioural response or predominant thinking (IC) and guide thinking and/or action towards the resolution of a task (CF) (Banich, 2009). Thus, using a variety of tasks that are widely used in the literature to evaluate EF as evidence of general cognitive processing is viable, as is accessing more detailed information regarding the three neurocognitive sub-processes that derive from these functions.

Cognitive flexibility

CF corresponds to a neurocognitive sub-process that enables a wide variety of changes at the cognitive level, and is related to the processes of changing tasks (better known as task switching or set-shifting) and creativity (Diamond, 2013). CF is built on the prior

development of WM and IC, respectively, where IC is used to inhibit (or deactivate) previous mental schemes based on the loading (or activation) of new patterns in the WM (Best & Miller, 2010). One of the aspects in which the CF operates is how an individual can change their way of thinking: for example, how they might change their approach to a mathematical problem because their initial thoughts did not contribute to its resolution. Similarly, CF allows changes to be made to a spatial perspective (for example, when a photographer visualizes the best position to frame a shot) and/or an interpersonal perspective (for example, when one decides to empathize with another person). In addition, CF favours adaptation to changes in demands or priorities that certain contexts require, and in addition the flexibility to admit an error or take advantage of sudden opportunities that may appear throughout the course of our lives (Zelazo, 2015).

Traditionally, CF has been evaluated by using a wide variety of neuropsychological tasks, including the classic Wisconsin Card Sorting Test (WCST), which consists of ordering a sequence of cards by number, colour or shape, which changes throughout the task, according to the feedback given to their answers by the researcher (Nyhus & Barceló, 2009). In the same way, the Dimensional Change Card Sort (DCCS) task developed by Zelazo et al. is one of the easiest ways to assess CF. The DCCS task comprises ordering certain visual stimuli according to a bivalent criterion, where the correct answer for one task (for example, blue or red) is incorrect for the other (for example, car or flower), a criterion of response that changes only once during the entire test (Zelazo, Frye, & Rapus, 1996; Zelazo et al., 2003). Neuropsychological task switching tests have been widely used to assess damage to the function of the prefrontal cortex (Alvarez & Emory, 2006; Miller & Wallis, 2009). For example, it has been shown that activation of the mid-ventrolateral prefrontal region together with subcortical regions (basal ganglia, caudate nucleus and thalamus) is needed to ensure the cognitive change required to respond appropriately in a Wisconsin test (Monchi, Petrides, Petre, Worsley, & Dagher, 2001).

Like other tasks that evaluate CF, the Gender/Emotion Switch Task (GEST) uses visual stimuli and responses according to a bivalent criterion. Unlike other tasks, GEST includes affective expressions for the stimuli, in this case, images of human angry or happy faces. During the experimental session, participants alternate between reporting on the emotion or gender of a certain face (de Vries & Geurts, 2012). GEST is an experimental task that allows us to study the link between emotion and cognition, while facilitating the collection of empirical information on the affective modulation of cognitive processing based on CF. Specifically, GEST sheds light on the influence of the dimensions of affective salience and valence from the participants' responses during a CF assessment task, providing new background to the scarce literature that links the role of affective dimensions to cognitive processing that is the base of EF.

Emotion as a constitutive part of the cognitive process

Emotion is a critical determinant of behaviour, thought and experience. It is defined as a complex psychological phenomenon that includes different explanatory levels, including behavioural, physiological and cognitive aspects (Ochsner et al., 2004). The current consensus is that the main biological function of emotions is to help individuals adapt

their behaviour to the situation. In this sense, emotional states normally arise as reactions to external stimuli, while it is evident that internal stimuli can also generate them for our species, such as memories or conscious states that result from cognitive activity (LeDoux & Hofmann, 2018).

Emotional states are processes that, once generated, change as the subject deploys their cognitive and behavioural resources to address the situation (Pessoa, 2008, 2019). When an external stimulus impacts our cognitive system, initial sensory processing — that is automatic and not conscious — is generated, which then moves towards more complex integration and evaluation processes that can prolong, alter or interrupt the initially generated subjective state. In this way, it is expected that an emotion will produce a simple transient initial response of general activation (e.g., startle when crossing a spider), which will then be complemented by a complex late response that requires different sources of information (e.g., calm when noticing that it is not a spider, but only a piece of wool) (Ceric, 2012; LeDoux, 2012).

To understand how emotions are related to cognitive processing, we must also consider the explanatory level of brain function. In regard to brain structures, the dorsolateral prefrontal cortex and parietal cortex regions are known to be involved in working memory processes (Crone, Wendelken, Donohue, van Leijenhorst, & Bunge, 2006). In regard to inhibitory control, the frontoparietal network and the cingulo-opercular network are involved in the implementation of top-down control and bottom-up signal processing (Dosenbach et al., 2007; Fair et al., 2007). In regard to cognitive flexibility, it is activation in the anterior cingulate cortex that initiates recruitment of the lateral prefrontal regions (MacDonald, Cohen, Stenger, & Carter, 2000). Likewise, another neural correlate of cognitive flexibility is found in the lateral prefrontal cortex (Moriguchi, Sakata, Ishibashi, & Ishikawa, 2015).

The organization of the brain presents a surprisingly considerable degree of functional specialization considering the interdependence of the parts, with regions that can be categorized as mostly affective or cognitive. The amygdala has traditionally been considered an affective domain and the prefrontal cortex a domain linked to cognition. However, complex cognitive-emotional behaviours are currently considered to be based on dynamic coalitions of networks of brain areas, none of which are specifically categorized as affective or cognitive. In this sense, the brain works based on a series of brain organization principles that allow it to function in an integrated and coordinated manner (Pessoa, 2008, 2017).

On this basis, we believe it is essential that we understand how cognitive processing, particularly EFs, changes according to what type of functional regions or networks are recruited for a specific task, for example, when an emotional processing pathway is activated as a basic motivational component that is prioritized by neurocognitive processes.

Hot versus cold executive functions

The literature outlines consistent evidence of differences in the performance of tasks that assess EF according to the motivational level given by the context (Peterson & Welsh, 2014; Zelazo, 2015), where the motivational level refers to the concept of emotional salience, as that is what gives temperature to the processing of EF. 'Hot'

aspects of EF have been identified which occur only in significant motivational contexts, compared to the ‘cold’ aspects that have traditionally been evaluated in laboratory contexts. Those traditional studies have emphasized how cognition and emotion interact to guide behaviour, and have found that this association is relevant to humans in ecological contexts (Perone et al., 2018).

To date there are few reports associating variables of affective connotation with specific cognitive sub-processes (i.e., WM, IC and CF). For example, Lin, Tsai, Lin, and Chen (2014) found evidence of an association between emotional valence and EF when observing how positive affect fosters cognitive flexibility. However, studies such as this do not provide evidence on how specific emotional states can modulate neuronal dynamics during task change processes. Accordingly, Vásquez-Rosati, Montefusco-Siegmund, López, and Cosmelli (2019) showed how emotional states can affect cognitive flexibility through a task-switching study and by analysing the results of the brain activity with EEG. To answer this question, they used a card sorting task adapted for physiological measurements, which they paired with emotional induction (two musical stimuli). In this study, where the musical stimuli were novel to all participants, they explored the issue of how emotional dispositions can affect cognitive flexibility in a commonly used card sorting task. The authors consistently found that the intrinsic (expected) valence of emotional stimuli is not decisive in the impact it has on the person or the performance of their task, i.e., participants may feel either facilitated or hindered by the emotional disposition generated by the same musical stimulus, depending on how they experienced the situation. Other authors suggest that the emotional disposition fostered by music with negative valence facilitates cognitive flexibility, helping the participant, for example, to focus during the resolution of a task (e.g., Andrews & Thomson, 2009).

This study seeks to understand how different levels of affective salience can modulate participants’ processing and performance in a cognitive flexibility task. To meet this objective, we decided to explore two explanatory levels: the first (behavioural) focuses on evidencing whether the condition of high emotional salience can modify performance in a standard task that evaluates cognitive function, and the second (brain activity) analysed to what extent of cognitive processing this difference occurs. To study this effect, we adapted a cognitive flexibility test that was implemented in conditions of high and low emotional salience, which recorded participants’ behavioural performance (accuracy and time of response) and their electroencephalographic activity while they responded to the task.

Methods

Participants

32 subjects (20 females) with a mean age of 24 ($SD = 3.75$) participated in this study. The sample comprised undergraduate university students, selected from among those who signed the informed consent, with the additional criterion that they had no presence or history of pharmacological treatment, learning difficulties, intellectual/sensory disabilities, non-correctable visual problems or emotional issues.

Those participants who did not complete the entire behavioural study (one volunteer) or whose brain activity records were severely affected by artefacts (two volunteers) were excluded from the statistical analysis.

Ethical considerations

The study received approval from the Universidad del Desarrollo Institutional Ethics Committee to carry out each of the experimental procedures. In accordance with the Declaration of Helsinki, all participants signed an informed consent before completing the sociodemographic surveys and participating in the laboratory studies. In addition, compensation was given to the participants after their participation which consisted of a healthy snack.

Instruments and procedures

Gender/Emotion Switch Task (GEST)

Originally designed by de Vries and Geurts (2012), this task assesses participants by analysing their abilities with test hypothesis, systematic visual search and facial recognition. In each trial the task presented: (1) a fixation cross for 500 ms; (2) a cue for 800 ms; (3) a black screen for 500 ms; (4) an image of a human face (corresponding to the target stimulus) until a response is obtained; and (5) a black screen for 500 ms. The cue indicates how the subject in the image should respond. The subject was instructed to select one of two alternatives that exactly matched the image of the standardized face. The images of human faces were previously validated for their level of emotional salience and reliability of expression (Cerić, 2008).

The tests in which the cue points to categorizing gender were considered a condition of low emotional salience. In this case, the subject had to answer whether the image corresponded to a female (by pressing number 4) or a male (by pressing number 6). Those tests in which the cue points to categorizing the emotion on the face shown were considered a condition of high emotional salience. In this regard, if the face was happy (i.e., positive affective valence stimulus), the subject had to respond by pressing number 4. But if the face was angry (i.e., negative affective valence stimulus), the subject had to respond by pressing number 6. It was ensured that all participants were randomly exposed to all conditions and underwent the same number of tests.

Behavioural data analysis

For the behavioural data analysis, we measured the reaction times (RT) and accuracy (Acc). From these data, the calculation of descriptive statistics and means comparison tests (Student's *t*-test for independent samples) were performed using the IBM SPSS software version 21.

Electrophysiological data analysis

During each task, participants' electrical brain activity was recorded using a 64-channel device from Electrical Geodesic Inc. and NetStation software version 4.0, at a sampling

rate of 250 Hz. An offline digital bandpass filter at between 0.50 Hz and 30 Hz was applied to the recordings. The continuous EEG recordings were then segmented from 200 ms before the target was presented to 800 ms after the moment the target was presented. In addition, artefact rejection was performed through NetStation software and visual checking. Moreover, the process of obtaining the ERPs was carried out with the EEGLAB tool version 13.0 for the MATLAB software version R2014. Subsequently, the MATLAB software was used for the statistical analysis of the electroencephalographic activity. Through this software, the amplitude, latency and time peaks of specific components of each ERP were performed, using Student's *t*-tests for independent samples. At the specific level of the GEST task, comparisons were made in specific ERP patterns according to the affective characteristics of the stimuli.

Results

Behavioural results

The behavioural results from the GEST test were analysed considering the responses of 31 subjects (20 females).

When considering the affective valence (happiness or anger) as a condition, there were no statistically significant differences between the two conditions evaluated in terms of accuracy ($t(60) = -0.84, p = .40$) and reaction time ($t(60) = 0.39, p = .70$). But considering affective salience as a condition (high for emotion or low for gender), the results showed a statistically significant difference in regard to reaction time ($t(60) = 2.33, p = .023$) between conditions of high affective salience ($M = 909.90$ ms, $SD = 282.34$ ms) and the conditions of low affective salience ($M = 760.98$ ms, $SD = 216.70$ ms). In other words, a faster performance was seen in conditions of low affective salience, without affecting the accuracy of the responses. However, when considering the accuracy between conditions of emotional salience, there were no statistically significant differences comparing both conditions ($t(60) = -1.45, p = .15$) (Table 1).

Electrophysiological results

The electrophysiological results were analysed considering the responses of 30 subjects (20 females). The statistical evaluation comparing the conditions of salience showed the greatest difference in amplitude at 124 ms. At this latency, the difference was mainly reflected in the record corresponding to the E37 (Oz) electrode in the central occipital location. In general, the ERPs of both evaluated conditions clearly presented two

Table 1. Descriptive analysis of behavioural variables. Table 1 shows the averages and standard deviations (*SD*) for reaction times (RT) in milliseconds (ms) and accuracy (Acc) of the response, the category of emotional valence (happiness as positive and anger as negative) and the category of emotional salience (high corresponds to emotional expression and low corresponds to gender).

	Emotional valence		Emotional salience	
	Positive	Negative	High	Low
RT (ms)	842.44 (<i>SD</i> 291.0)	871.84 (<i>SD</i> 299.8)	760.9 (<i>SD</i> 282.34)	909.9 (<i>SD</i> 216.7)
Acc	0.969 (<i>SD</i> 0.036)	0.961 (<i>SD</i> 0.041)	0.967 (<i>SD</i> 0.034)	0.954 (<i>SD</i> 0.037)

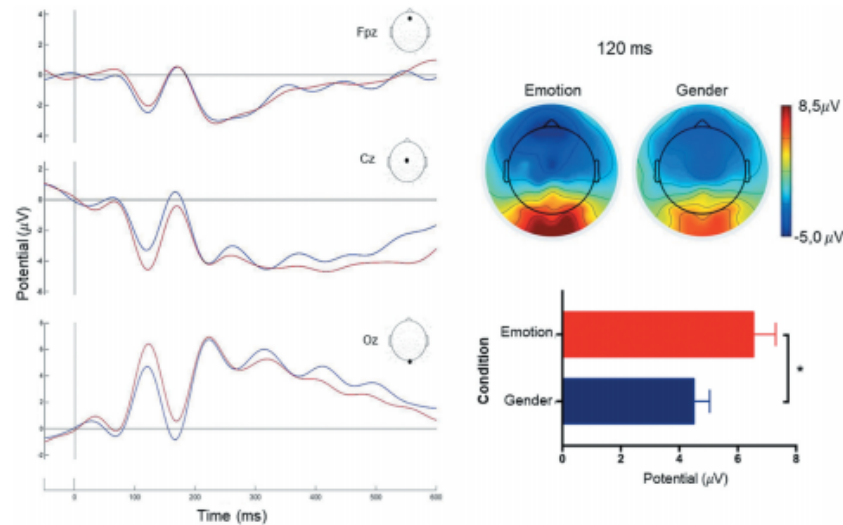


Figure 1. Evoked potentials according to the condition of high and low emotional salience. Figure 1 shows the graph of evoked potentials (ERP), describing the potential (μV) in relation to the length of time (ms) the objective stimulus was presented. The graph on the right shows the differentiated topology of electroencephalography activity at 120 ms by condition (above), and the bottom half shows the significant differences between the amplitude peaks of each condition at 120 ms.

components: first, a positive peak at 120 ms (P120) and later a negativity at 168 ms (N170). Specifically, our data indicated statistically significant differences for the P120 component between conditions of gender and emotion ($t(52.62) = 2.16, p = .035$), where the condition of high affective salience presented greater activation at the central occipital level ($M = 6.53 \mu V, SD = 0.77 \mu V$), in contrast to the condition of low affective salience ($M = 4.49 \mu V, SD = 0.55 \mu V$). Furthermore, after a comparison analysis of salience conditions for peak-to-peak amplitudes, no statistically significant differences were found for the N170 component ($t(58) = 0.31, p = .76$) between the evaluated conditions. As a whole, the results indicate a greater use of neurocognitive resources, especially attention, in conditions of high affective salience (Figure 1).

Discussion and conclusion

This research study sought to understand how different levels of affective salience can modulate processing and performance in a cognitive flexibility task. Taken together, the results show differences both at the behavioural level and brain activity level, where the condition of high emotional salience generates greater reaction time (without modifying the accuracy of the response) and demand for cognitive resources compared to the condition of low emotional salience.

In particular, at the behavioural level the literature indicates that a high demand for cognitive resources could predict interference in the performance of a task (e.g., Cowan, 2010; Donders, 1969). In our case, both emotional valence conditions

registered a high accuracy rate and no statistically significant differences. This could be explained by a ceiling effect that is due to the low difficulty of the task, which reaches the levels of automation that are occupied in tasks whose stimuli are presented sequentially and where rule changes are binary. However, during the development of the task and when the cue pointed to the selection of emotional content, volunteers took longer to respond. First, this phenomenon could be due to differences in expectations based on the emotional content of the faces. Second, these differences could be due to differences in the processing required during the recognition of the affective cues versus gender cues of the faces being evaluated. However, in both scenarios we could deduce that the emotional cue triggers an alert in the system that leads to a greater demand for neurocognitive resources and subsequently to a slower variation in response times. In this way, the results rule out that emotion could interfere in the task to be solved.

At the electrophysiological level, the recording of brain activity shows a modulation of early potentials (P1). In this component, the condition of high emotional salience registered the greatest amplitude. Our hypothesis is that through an affective cue (condition of high emotional salience) we were predisposing the subject to improve selective attention for the detection of emotion, which in turn generates an increase in activation (arousal) as the task has an emotional content. This effect is reflected in our study by the greater amplitude of the P1 component in the condition of high emotional salience. This is consistent with findings by Luck, Woodman, and Vogel (2000) on selective attention and Vogel and Luck (2000) on activation (arousal). Moreover, various studies have shown that the N170 component is specifically modulated by face detection, increasing amplitude in the presence of faces compared to other visual cues (Rossion & Jacques, 2011). Our findings concur with these other studies. In our study, no differences in amplitude were found for this component, which is supported by the fact that both evaluated conditions presented the same set of human faces as objective stimuli.

As the main finding of the study, we observed the consistent modulation of a rigid cognitive process (in terms of rules to follow) through cues previously presented to the target stimuli. This translates into highly sedimented cognitive processes, such as executive functions, that are sensitive to contextual emotional information and therefore flexible with regard to the nature of the information. Critical components to understand this effect include both the allocation of resources to attentional processes and the system activation (arousal) level.

Regarding the limitations of the study, it is worth noting that at the task level we found a possible ceiling effect, as we found high accuracy rates in both evaluated conditions. This effect could have prevented us from detecting differences in the general performance of both evaluated conditions. One way to have circumvented this would have been to consider a larger sample size within the behavioural analysis.

This line of research could continue to explore other executive function sub-processes and incorporate different perceptual modalities, in order to approach more ecological models. Furthermore, it would be interesting to understand the evolutionary development in the life cycle of executive functions, since it seems that cognitive development trajectories are not strictly equal to affective development trajectories.

In regard to our data, by understanding that there is a modulation of performance and cognitive processing mediated by selective attention and activation (arousal), we can conclude that an adequate emotional context improves performance and the development of executive functioning, enhancing the teaching-learning process.

Modulación afectiva de la flexibilidad cognitiva: un estudio conductual y electrofisiológico

Funciones ejecutivas

Las Funciones Ejecutivas (FE) corresponden a un conjunto de procesos neurocognitivos de tipo *top-down* que sustentan la regulación de la acción, el pensamiento y las emociones (Perone, Almy, & Zelazo, 2018). Éstas son necesarias para organizar secuencias complejas de comportamiento, para priorizar acciones y pensamientos con el objetivo del cumplimiento de metas y submetas, y para la superación de problemas cotidianos (Miller & Wallis, 2009). Asimismo, las FE se manifiestan como una serie de procesos neurocognitivos que influyen en la resolución de problemas, en procesos atencionales y en el establecimiento de objetivos (Bunge & Souza, 2009). Además, las FE pueden ser entendidos como habilidades, en tanto que son esenciales para la salud física y mental, el éxito académico y social, y el desarrollo adaptativo del sujeto (Diamond, 2013).

Tradicionalmente, el estudio de las FE ha sido abordado distinguiendo tres subprocesos neurocognitivos. Estos subprocesos mantienen un orden jerárquico en cuanto a la creciente complejidad dada por la maduración del sistema y la creciente demanda de recursos neurocognitivos. Así, en primer lugar, la Memoria de Trabajo (WM, acrónimo inglés de *working memory*) corresponde al subproceso utilizado para mantener y manipular un conjunto finito de información consciente durante un período de tiempo limitado. En segundo lugar, el Control Inhibitorio (CI) es el proceso que permite actuar en base a un objetivo determinado, a pesar de la distracción suscitada durante una tarea. En tercer lugar, la Flexibilidad Cognitiva (FC) corresponde al proceso utilizado para cambiar entre diferentes formas o esquemas de pensamiento en beneficio del cumplimiento de una tarea (Diamond, 2013; Perone et al., 2018).

Dado que estos tres subprocesos actúan de forma conjunta y a menudo indistinguible a nivel neurocognitivo (Jurado & Rosselli, 2007), hasta ahora no es posible encontrar evidencia consensuada (*gold standard*) para evaluar los mecanismos neuronales a la base de las FE. Sin embargo, como aproximación a este propósito se han desarrollado diferentes tareas conductuales que examinan diferencias individuales de desempeño y que guardan una clara relación con cada uno de los subprocesos de las FE. En este sentido, es posible encontrar en la literatura tareas que evalúan la capacidad de mantener actualizado el contenido mental (WM), la capacidad de inhibir una respuesta conductual o pensamiento predominante (CI), y la capacidad de orientar el pensamiento y/o la acción hacia la resolución de una tarea (FC) (Banich, 2009). De esta forma, es posible utilizar diferentes tareas ampliamente utilizadas en la literatura para evaluar a las FE como evidencia del procesamiento cognitivo general e incluso acceder

a información más detallada, aludiendo a los tres subprocesos neurocognitivos que se derivan de estas funciones.

Flexibilidad cognitiva

En particular, la FC corresponde a un subproceso neurocognitivo que hace posible una gran variedad de cambios a nivel cognitivo, y que está relacionado con los procesos de cambio de tareas (más conocidos como *task switching* o *set-shifting*) y de creatividad (Diamond, 2013). La FC se construye sobre el desarrollo previo de la WM y el CI, respectivamente, donde el CI se utiliza para inhibir (o desactivar) esquemas mentales previos en función de la carga (o activación) de nuevos esquemas en la WM (Best & Miller, 2010). Uno de los aspectos en los que opera la FC se refiere al cambio de pensamiento, por ejemplo, relacionado con la manera de afrontar un problema matemático de manera diferente cuando la primera forma utilizada no contribuyó a su resolución. Asimismo, la FC permite realizar cambios en la perspectiva espacial (por ejemplo, cuando un fotógrafo imagina la mejor posición para el encuadre de un retrato) y/o en la perspectiva interpersonal (por ejemplo, cuando uno decide empatizar con otra persona). Además, la FC favorece la adaptación a los cambios en las demandas o prioridades que nos exige el entorno y, por otro lado, la flexibilidad para admitir un error o aprovechar las oportunidades repentinas que puedan aparecer en el transcurso de nuestras vidas (Zelazo, 2015).

Tradicionalmente, la FC ha sido evaluada con una amplia variedad de tareas neuropsicológicas, entre las que destaca el clásico test de Wisconsin (WCST, del acrónimo inglés *Wisconsin card sorting test*), que consiste en ordenar una secuencia de cartas por número, color o forma, regla que irá cambiando a lo largo de la tarea y que deberá ser deducida por el sujeto evaluado según la retroalimentación de sus respuestas por parte del investigador (Nyhus & Barceló, 2009). De manera similar, la tarea *Dimensional Change Card Sort* (DCCS) desarrollada por Zelazo y colaboradores es una de las formas más sencillas de evaluar la FC. Esta consiste en ordenar ciertos estímulos visuales de acuerdo con un criterio bivalente, donde la respuesta correcta para una tarea (por ejemplo, color azul o rojo) es incorrecta para la otra (por ejemplo, forma de coche o de flor), un criterio de respuesta que cambia una sola vez durante toda la prueba (Zelazo, Frye, & Rapus, 1996; Zelazo et al., 2003). Por otro lado, las pruebas neuropsicológicas de cambio de tareas han sido ampliamente utilizadas para evaluar los daños en la función de la corteza prefrontal (Alvarez & Emory, 2006; Miller & Wallis, 2009). Por ejemplo, se ha señalado que la activación del área ventrolateral prefrontal medial en conjunto con las regiones subcorticales (ganglios basales, núcleo caudado y tálamo) es necesaria para el cambio cognitivo requerido para responder adecuadamente en un test de Wisconsin (Monchi, Petrides, Petre, Worsley, & Dagher, 2001).

Al igual que otras tareas que evalúan FC, la tarea *gender/emotion switch task* (GEST) considera estímulos visuales y respuestas de acuerdo con un criterio bivalente. En contraste, GEST incorpora como uno de los criterios de respuesta la expresión afectiva de los estímulos, en este caso, fotografías de rostros humanos con aspecto de enfado o felicidad. Durante la secuencia experimental, los participantes alternan entre informar sobre la emoción o el género de un rostro en particular (de Vries & Geurts, 2012). De esta manera, GEST es una tarea experimental que permite estudiar el vínculo entre

emoción y cognición, en tanto que permite obtener información empírica de la modulación afectiva del procesamiento cognitivo a la base de la FC. Particularmente, GEST permitiría determinar la influencia de las dimensiones de saliencia y valencia afectiva en las respuestas de los participantes durante una tarea de evaluación de FC, aportando nuevos antecedentes a la escasa literatura que vincula el rol de las dimensiones afectivas en el procesamiento cognitivo a la base de las FE.

La emoción como parte constitutiva del proceso cognitivo

La emoción es una determinante crítica del comportamiento, el pensamiento y la experiencia. Ésta se define como un fenómeno psicológico complejos que incluyen diferentes niveles explicativos, que incluyen aspectos conductuales, fisiológicos y cognitivos (Ochsner et al., 2004). Actualmente, hay un consenso respecto a que la principal función biológica de las emociones es la adaptación de la conducta a situaciones relevantes para el individuo. En este sentido, los estados emocionales surgen normalmente como reacciones a estímulos externos, siendo evidente que para nuestra especie los estímulos internos también pueden generarlos, como recuerdos o estados conscientes que resultan de la actividad cognitiva (LeDoux & Hofmann, 2018).

Los estados emocionales son procesos que, una vez generados, cambian a medida que el sujeto despliega sus recursos cognitivos y conductuales para afrontar la situación (Pessoa, 2008, 2019). Cuando un estímulo externo impacta nuestro sistema cognitivo, se genera procesamiento sensorial inicial que es automático y no consciente, que luego transitará hacia procesos de integración y evaluación más complejos que pueden prolongar, alterar o interrumpir el estado subjetivo inicialmente generado. De esta manera, es esperable que una emoción produzca una respuesta inicial transitoria simple de activación general (e.g., sobresalto al estar frente a una araña), luego se complementará con una respuesta tardía compleja que requiere diferentes fuentes de información (e.g., tranquilidad al percatarnos que no se trata de una araña, sino sólo un trozo de lana) (Ceric, 2012; LeDoux, 2012).

Para entender cómo se relacionan las emociones con el procesamiento cognitivo, debemos considerar también el nivel explicativo del funcionamiento cerebral. En cuanto a las estructuras encefálicas, se sabe que las regiones de la corteza prefrontal dorsolateral y la corteza parietal están implicadas en los procesos de la memoria de trabajo (Crone, Wendelken, Donohue, van Leijenhorst, & Bunge, 2006). En cuanto al control inhibitorio, la red frontoparietal y la red cíngulo-opercular están implicadas en la implementación del control top-down y el procesamiento de señales bottom-up (Dosenbach et al., 2007; Fair et al., 2007). En cuanto a la flexibilidad cognitiva, es la activación en la corteza cingulada anterior la que iniciaría el reclutamiento de las regiones prefrontales laterales (MacDonald, Cohen, Stenger, & Carter, 2000). Asimismo, otro correlato neural de la flexibilidad cognitiva se encontraría en la corteza prefrontal lateral (Moriguchi, Sakata, Ishibashi, & Ishikawa, 2015).

La organización del cerebro presenta un grado considerable de especialización funcional a pesar de la interdependencia de las partes, con regiones que pueden ser conceptualizadas como mayormente afectivas o cognitivas. Tradicionalmente, se ha considerado a la amígdala como un dominio afectivo y a la corteza prefrontal como un dominio ligado a la cognición. Sin embargo, actualmente se considera que las

conductas cognitivo-emocionales complejas se basan en coaliciones dinámicas de redes de áreas cerebrales, ninguna de las cuales debe ser conceptualizada específicamente como afectiva o cognitiva. En este sentido, el cerebro funciona en base a una serie de principios de organización cerebral que le permiten funcionar de forma integrada y coordinada (Pessoa, 2008, 2017).

Respecto a lo anterior, es crítico comprender cómo el procesamiento cognitivo, en particular las FE, cambian según qué tipo de regiones o redes funcionales se recluten para una tarea específica, por ejemplo, cuando se activa una vía de procesamiento emocional como componente motivacional básico que se encuentra priorizado respecto a demanda de procesos neurocognitivos.

Funciones ejecutivas calientes versus frías

En la literatura se presenta evidencia consistente de diferencias en el desempeño de las tareas que evalúan las FE según el nivel motivacional dado por el contexto (Peterson & Welsh, 2014; Zelazo, 2015), donde el nivel motivacional alude al concepto de saliencia emocional, siendo esta última la que da la temperatura al procesamiento de las FE. En este sentido, se han podido distinguir los aspectos ‘calientes’ de las FE que surgen sólo en contextos motivacionales significativos, en comparación con aquellos aspectos ‘fríos’ que tradicionalmente se han evaluado en contextos de laboratorio. Es decir, tales estudios han enfatizado cómo la cognición y la emoción interactúan para guiar la conducta, y han señalado esta asociación como relevante para los humanos en contextos ecológicos (Perone et al., 2018).

Particularmente, a la fecha existen escasos reportes que vinculen variables de connotación afectiva con subprocesos cognitivos específicos (i.e., WM, CI y FC). Por ejemplo, Lin, Tsai, Lin, y Chen (2014) evidenciaron una asociación entre la valencia emocional y las FE, al observar cómo el afecto positivo promueve la flexibilidad cognitiva. Sin embargo, estudios como el anterior no aportan evidencia sobre cómo los estados emocionales específicos pueden modular la dinámica neuronal durante los procesos de cambio de tareas. En este sentido, Vásquez-Rosati, Montefusco-Siegmund, López, y Cosmelli (2019) mostraron cómo los estados emocionales pueden afectar a la flexibilidad cognitiva, fenómeno evaluado por un paradigma de cambio de tareas y su análisis en términos de la actividad cerebral con EEG. Para responder a esta pregunta, utilizaron una tarea de clasificación de tarjetas adaptada para mediciones fisiológicas, la cual emparejaron con una inducción emocional (dos estímulos musicales). En su estudio, los estímulos musicales fueron novedosos para todos los participantes, abordando el tema de cómo las disposiciones emocionales pueden afectar la flexibilidad cognitiva en una tarea de clasificación de tarjetas de uso común. Los autores hallaron consistentemente que la valencia intrínseca (esperada) de los estímulos emocionales no es determinante tanto en el efecto sobre la persona o el desempeño de su tarea, es decir, los participantes pueden sentirse ya sea facilitados u obstaculizados por la disposición emocional generada por el mismo estímulo musical, dependiendo de cómo experimentaron la situación. Otros autores sugieren que la disposición emocional promovida por la música con valencia negativa facilita la flexibilidad cognitiva permitiendo, por ejemplo, un mejor enfoque durante la resolución de una tarea (e.g., Andrews & Thomson, 2009).

En el presente trabajo se busca comprender cómo distintos niveles de saliencia afectiva modularían el procesamiento y desempeño de participantes en una tarea de flexibilidad cognitiva. Para cumplir con este objetivo, nos enfocamos en investigar dos niveles explicativos, el primero (conductual) se focaliza en evidenciar si la condición de alta saliencia emocional puede modificar el rendimiento en una tarea estándar que evalúa una función cognitiva y en un segundo nivel (actividad cerebral), refiere a qué nivel del procesamiento cognitivo se produce esta diferencia. Para estudiar este efecto, adaptamos una prueba de Flexibilidad Cognitiva en condiciones de alta y baja saliencia emocional, de la cual se registró el desempeño conductual (precisión y rapidez de la respuesta) y la actividad electroencefalográfica de los participantes mientras respondieron a la tarea.

Métodos

Participantes

Participaron de este estudio 32 sujetos (20 mujeres) con una media de edad de 24 años ($SD = 3.75$). La muestra estuvo constituida por estudiantes universitarios de pregrado, seleccionados entre los que firmaron el consentimiento informado, con el criterio adicional de que no hubiera presencia o historia de tratamiento farmacológico, dificultades de aprendizaje, discapacidad intelectual/sensorial, problemas visuales no corregibles y problemas emocionales.

Fueron excluidos del análisis estadístico aquellos participantes que no completaron la totalidad del estudio conductual (1 voluntario) o cuyos registros de actividad cerebral se vieron severamente afectados por artefactos (2 voluntarios).

Consideraciones éticas

El presente estudio cuenta con la aprobación del Comité de Ética Institucional de la Universidad del Desarrollo para cada uno de los procedimientos experimentales. De acuerdo con la Declaración de Helsinki, todos los participantes firmaron un consentimiento informado antes de completar las encuestas sociodemográficas y participar del laboratorio. Además, se entregó una compensación a los participantes tras su participación la que consistió en un refrigerio saludable.

Instrumentos y procedimientos

Gender/emotion switch task (GEST)

Originalmente diseñada por de Vries y Geurts (2012), esta tarea busca evaluar en los participantes su capacidad de comprobación de hipótesis, búsqueda visual sistemática y reconocimiento facial. La tarea consiste en presentar en cada ensayo: (1) una cruz de fijación por 500 ms; (2) una clave por 800 ms; (3) una pantalla negra por 500 ms; (4) una fotografía de un rostro humano (correspondiente al estímulo objetivo) hasta obtener una respuesta; y (5) una pantalla negra por 500 ms. La clave indica cómo debe responder el sujeto en la fotografía. El sujeto recibió instrucciones de seleccionar entre dos alternativas aquella que coincidiera exactamente con la fotografía del rostro

estandarizada. Las fotografías de rostros humanos fueron previamente validadas en cuanto a su nivel de saliencia emocional y confiabilidad de la expresión (Cerić, 2008)

Se consideró como condición de baja saliencia emocional aquellos ensayos donde la clave apunta a categorizar género. En este caso, el sujeto debió responder si la fotografía corresponde a una mujer (pulsando la tecla numérica 4) o a un hombre (pulsando la tecla numérica 6). Por otro lado, se consideró como condición de alta saliencia emocional aquellos ensayos donde la clave apunta a categorizar la emoción del rostro. Al respecto, si el rostro se encontraba feliz (i.e., estímulo de valencia afectiva positiva), el sujeto debió responder pulsando la tecla numérica 4. Ahora bien, si el rostro se encontraba enfadado (i.e., estímulo de valencia afectiva negativa), el sujeto debió responder pulsando la tecla numérica 6. Todos los participantes fueron expuestos a todas las condiciones de manera previamente aleatorizadas y balanceadas en número de ensayos por condiciones.

Análisis de datos conductuales

Para el análisis de los datos conductuales, se registraron medidas de tiempo de reacción (RT, acrónimo del inglés *reaction times*) y precisión de la respuesta (ACC, acrónimo del inglés *accuracy*). A partir de estos datos, se realizó el cálculo de estadísticos descriptivos y pruebas de comparación de medias (*t* de Student para muestras independientes), utilizando el software IBM SPSS versión 21.

Análisis de datos electrofisiológicos

Durante cada tarea se registró la actividad eléctrica cerebral de los participantes con un dispositivo de 64 canales de la empresa Electrical Geodesic Inc. y utilizando el software NetStation versión 4.0, a una frecuencia de muestreo de 250 Hz. A las grabaciones se les aplicó un filtro de pasa banda digital offline entre 0.50 Hz y 30 Hz. A continuación, las grabaciones continuas de EEG se segmentaron desde 200 ms antes del inicio de la presentación del objetivo hasta 800 ms después del inicio de la presentación del objetivo. Además, se realizó un rechazo de artefactos a través del software NetStation y comprobación visual. Por otro lado, el proceso de obtención de los ERPs se realizó con la herramienta EEGLab versión 13.0 para el software MATLAB versión R2014. Posteriormente, el software MATLAB se utilizó para el análisis estadístico de la actividad electroencefalográfica. A través de este software se realizó la comparación de la amplitud, latencia y picos temporales de componentes específicos de cada ERP, utilizando pruebas *t* de Student para muestras independientes. A nivel específico de la tarea GEST, se realizaron comparaciones en patrones específicos de ERP según las características afectivas de los estímulos.

Resultados

Resultados conductuales

Los resultados conductuales de la prueba GEST se analizaron considerando las respuestas de un total de 31 sujetos (20 mujeres).

Al considerar como condición la valencia afectiva (felicidad o enfado), no se registraron diferencias estadísticamente significativas entre ambas condiciones evaluadas en términos de precisión ($t(60) = -0.84, p = .40$) y tiempo de reacción ($t(60) = 0.39, p = .70$). Ahora, al considerar como condición la saliencia afectiva (alta para emoción o baja para género), los resultados señalaron una diferencia estadísticamente significativa respecto al tiempo de reacción ($t(60) = 2.33, p = .023$), entre las condiciones de alta saliencia afectiva ($M = 909.90$ ms, $SD = 282.34$ ms) y las condiciones de baja saliencia afectiva ($M = 760.98$ ms, $SD = 216.70$ ms). En otras palabras, en condiciones de baja saliencia afectiva presentó un rendimiento más rápido en ella, sin verse afectada la precisión de sus respuestas. Sin embargo, al comparar la condición saliencia no se registraron diferencias estadísticamente significativas entre los resultados de precisión comparando ambas condiciones ($t(60) = -1.45, p = .15$) (Tabla 1).

Resultados electrofisiológicos

Los resultados electrofisiológicos se analizaron considerando las respuestas de un total de 30 sujetos (20 mujeres). La evaluación estadística de comparación de condiciones de saliencia señaló la mayor diferencia de amplitud a los 124 ms. A esta latencia, la diferencia se vio principalmente reflejada en el registro correspondiente al electrodo E37 (Oz) de ubicación occipital central. En general, los ERP (acrónimo inglés de *event related potentials*) de ambas condiciones evaluadas presentaron claramente dos componentes, en primer lugar, un peak positivo a los 120 ms (P120) y posteriormente una negatividad a los 168 ms (N170). Particularmente, nuestros datos indicaron diferencias estadísticamente significativas para el componente P120 entre las condiciones de género y emoción ($t(52.62) = 2.16, p = .035$), donde la condición de alta saliencia afectiva presentó una mayor activación a nivel occipital central ($M = 6.53$ μ V, $SE = 0.77$ μ V), en contraste con la condición de baja saliencia afectiva ($M = 4.49$ μ V, $SE = 0.55$ μ V). Por otro lado, luego de un análisis de comparación de condiciones de saliencia para amplitudes peak-to-peak, no se encontraron diferencias estadísticamente significativas para el componente N170 ($t(58) = 0.31, p = .76$) entre las condiciones evaluadas. En su conjunto, los resultados señalan una mayor destinación de recursos neurocognitivos, en especial atencionales, en condiciones de alta saliencia afectiva (Figura 1).

Tabla 1. Análisis descriptivos para variables conductuales. La Tabla 1 muestra los promedios y desviaciones estándar (*SD*) para tiempos de reacción (RT) en milisegundos (ms) y precisión (Acc) de la respuesta la categoría de valencia emocional (felicidad como positiva y enfado como negativa) y la categoría de Saliencia emocional (Alta corresponde a expresión emocional y Baja corresponde a género).

	Valencia emocional		Saliencia emocional	
	Positiva	Negativa	Alta	Baja
RT (ms)	842.44 (<i>SD</i> 291.0)	871.84 (<i>SD</i> 299.8)	760.9 (<i>SD</i> 282.34)	909.9 (<i>SD</i> 216.7)
Acc	0.969 (<i>SD</i> 0.036)	0.961 (<i>SD</i> 0.041)	0.967 (<i>SD</i> 0.034)	0.954 (<i>SD</i> 0.037)

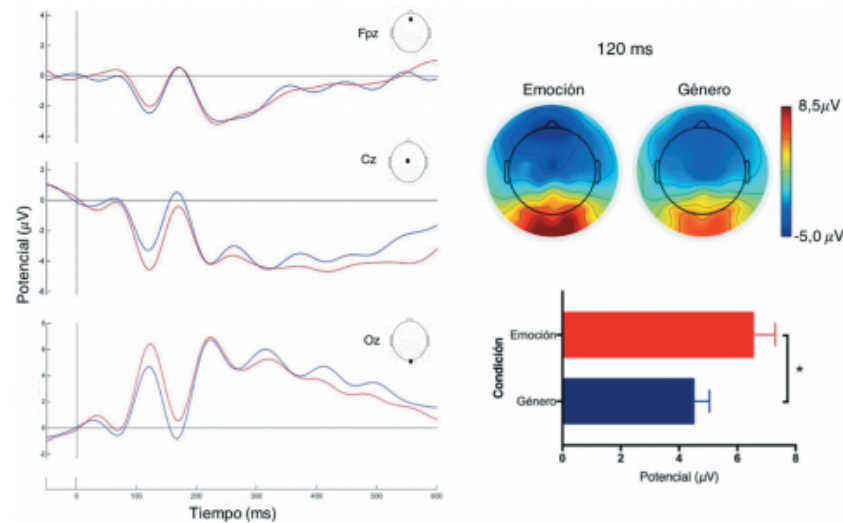


Figura 1. Potenciales evocados según condición de alta y baja saliencia emocional. La Figura 1 muestra la gráfica de los potenciales evocados (ERP), describiendo el potencial (μV) en relación con el tiempo (ms) de presentación del estímulo objetivo. A la derecha se presenta la topología diferenciada de actividad electroencefalografía a los 120 ms (arriba) por condición y abajo, el gráfico evidencia las diferencias significativas entre los peak de amplitud de cada condición a los 120 ms.

Discusión y conclusión

La presente investigación tuvo como objetivo comprender cómo distintos niveles de saliencia afectiva modularían el procesamiento y desempeño en una tarea de evaluación de flexibilidad cognitiva. En su conjunto, los resultados evidencian diferencias tanto a nivel conductual como a nivel de actividad cerebral, donde la condición de alta saliencia emocional genera mayor tiempo de reacción (sin modificar la precisión de la respuesta) y demanda de recursos cognitivos respecto a la condición de baja saliencia emocional.

Particularmente, a nivel conductual la literatura indica que una alta demanda de recursos cognitivos podría predecir interferencia en el desempeño de una tarea (e.g., Cowan, 2010; Donders, 1969). En nuestro caso, ambas condiciones de valencia emocional registraron una alta tasa de precisión y sin diferencias estadísticamente significativas. Esto podría ser explicado por un efecto techo que obedece a una baja dificultad de la tarea, a su vez alcanzado por el nivel de automatismo que se alcanza en una tarea cuyos estímulos son presentados secuencialmente y donde el cambio de regla es binario. Sin embargo, durante el desarrollo de la tarea y cuando la clave apuntó a la selección de contenido emocional, las respuestas de los voluntarios se volvieron más lentas. Por una parte, este fenómeno podría deberse a diferencias en las expectativas a la base del contenido emocional que presentan los rostros. Por otra parte, estas diferencias podrían sustentarse por diferencias en el procesamiento requerido durante el reconocimiento de

las claves afectivas versus claves de género de los rostros evaluados. No obstante, en ambos escenarios podríamos deducir que la clave emocional es aquella que gatilla una alerta en el sistema que lleva a una mayor demanda de recursos neurocognitivos y subsecuentemente a una variación a la baja en el tiempo de respuesta. De esta forma, los resultados descartan una posible interferencia de la emoción sobre la tarea a resolver.

A nivel electrofisiológico, el registro de la actividad cerebral muestra una modulación de potenciales tempranos (P1). En este componente, la mayor amplitud se registró para la condición de alta saliencia emocional. Nuestra hipótesis es que a través de una clave afectiva (condición de alta saliencia emocional) estaríamos predisponiendo al sujeto a que mejore la atención selectiva para la detección de emoción, lo que a su vez genera un aumento de la activación (*arousal*) por tratarse de una tarea con contenido emocional. Este efecto, se ve reflejado en nuestro estudio por la mayor amplitud del componente P1 en la condición de alta saliencia emocional. Esto es consistente con los hallazgos de, por ejemplo, Luck, Woodman, y Vogel (2000) en atención selectiva y Vogel y Luck (2000) en activación (*arousal*). Por otro lado, diversos estudios han demostrado que el componente N170 es modulado específicamente por la detección de rostros, aumentando la amplitud en presencia de éstos en comparación a otras claves visuales (Rossion & Jacques, 2011). Nuestros hallazgos son consistentes con estos antecedentes. Al respecto, en nuestro estudio no se encontraron diferencias de amplitud para este componente, lo cual se sustenta en que ambas condiciones evaluadas presentaron como estímulos objetivos un mismo set de rostros humanos.

Como hallazgo principal del estudio observamos la consistente modulación de un proceso cognitivo rígido (en cuanto a reglas a seguir) a través de claves presentadas previamente a los estímulos objetivo. Esto se traduce en que procesos cognitivos altamente sedimentados, como son las funciones ejecutivas, son sensibles a la información emocional del contexto y, por lo tanto, flexibles respecto a la naturaleza de la información. Son componentes críticos para entender este efecto tanto la asignación de recursos a procesos atencionales como el nivel de activación (*arousal*) del sistema.

Como limitación de nuestro estudio es relevante señalar que a nivel de la tarea encontramos un posible efecto techo, donde en ambas condiciones evaluadas encontramos altas tasas de precisión. Este efecto nos habría impedido detectar diferencias en cuanto al desempeño general de ambas condiciones evaluadas. Una manera de haber sorteado este efecto habría sido considerar un tamaño de muestra mayor dentro del análisis conductual.

Esta línea de investigación podría continuar explorando en otros subprocesos de funciones ejecutivas e incorporando distintas modalidades perceptuales, con el fin de aproximarse a modelos más ecológicos. Además, sería interesante comprender el desarrollo evolutivo en el ciclo vital de las funciones ejecutivas, ya que al parecer las trayectorias de desarrollo cognitivo no serían estrictamente iguales a las trayectorias de desarrollo afectivo.

En relación con nuestros datos, al comprender que existe una modulación del desempeño y el procesamiento cognitivo mediado por la atención selectiva y la activación (*arousal*), podríamos proponer que un contexto emocional adecuado

podría mejorar el desempeño y también el desarrollo del funcionamiento ejecutivo, potenciando el proceso de enseñanza-aprendizaje.

Acknowledgements / Agradecimientos

We would like to thank Andrea Mira, Daniela Sannino, Rodrigo Arroyo and Pilar Valenzuela for their participation in this project. Similarly, we would like to thank Claudia Pizarro, Lisseth Barra and Martín Castro for their collaboration. This study received financial support from CONICYT, through the FONDECYT Regular 1171064 fund. The main researcher is Francisco Ceriá G. This article is part of the research carried out for the doctoral thesis written by Cristian Cortés Rivera. / *Agradecemos por su amplia participación este proyecto a Andrea Mira, Daniela Sannino, Rodrigo Arroyo y Pilar Valenzuela. De manera similar, agradecemos por su colaboración a Claudia Pizarro, Lisseth Barra y Martín Castro. Este estudio contó con el apoyo financiero de CONICYT, a través del concurso FONDECYT Regular 1171064, del investigador responsable es Francisco Ceriá G. Además, este artículo es parte de la investigación de la tesis doctoral de Cristian Cortés Rivera.*

Disclosure statement / Conflicto de intereses

No potential conflict of interest was reported by the authors. / *Los autores no han referido ningún potencial conflicto de interés en relación con este artículo.*

ORCID

Cristian Cortés-Rivera  <http://orcid.org/0000-0002-5875-4564>

Francisco Ceriá  <http://orcid.org/0000-0002-5526-3399>

References / Referencias

- Alvarez, J. A., & Emory, E. (2006). Executive function and the frontal lobes: A meta-analytic review. *Neuropsychology Review*, 16, 17–42.
- Andrews, P. W., & Thomson, J. A., Jr. (2009). The bright side of being blue: Depression as an adaptation for analyzing complex problems. *Psychological Review*, 116, 620.
- Banich, M. T. (2009). Executive function: The search for an integrated account. *Current Directions in Psychological Science*, 18, 89–94.
- Best, J. R., & Miller, P. H. (2010). A developmental perspective on executive function. *Child Development*, 81, 1641–1660.
- Bunge, S. A., & Souza, M. J. (2009). Executive function and higher-order cognition: neuroimaging. In L. Squire (Ed.), *Encyclopedia of neuroscience* (pp. 111–116). Oxford: Academic Press. doi:10.1016/B978-0-08-045046-9.00414-9
- Cerica, F. (2012). Fast route versus slow route: Electrophysiological and behavioural evidence of emotional processing pathways. *Estudios de Psicología*, 33, 385–388.
- Cerica, F. (2008). *Poniendo atención a las emociones: bases cerebrales del rol de la emoción en la atención como mecanismo de selección perceptiva* (Doctoral Thesis). Pontifical Catholic University of Chile, Santiago, Chile.
- Cowan, N. (2010). The magical mystery four: How is working memory capacity limited, and why? *Current Directions in Psychological Science*, 19, 51–57.
- Crone, E. A., Wendelken, C., Donohue, S., van Leijenhorst, L., & Bunge, S. A. (2006). Neurocognitive development of the ability to manipulate information in working memory. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 103, 9315–9320.
- de Vries, M., & Geurts, H. M. (2012). Cognitive flexibility in ASD; task switching with emotional faces. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 42, 2558–2568.

- Diamond, A. (2013). Executive functions. *Annual Review of Psychology*, 64, 135–168.
- Donders, F. C. (1969). On the speed of mental processes. *Acta Psychologica*, 30, 412–431.
- Dosenbach, N. U., Fair, D. A., Miezin, F. M., Cohen, A. L., Wenger, K. K., Dosenbach, R. A., ... Schlaggar, B. L. (2007). Distinct brain networks for adaptive and stable task control in humans. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 104, 11073–11078.
- Fair, D. A., Dosenbach, N. U., Church, J. A., Cohen, A. L., Brahmbhatt, S., Miezin, F. M., ... Schlaggar, B. L. (2007). Development of distinct control networks through segregation and integration. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 104, 13507–13512.
- Jurado, M. B., & Rosselli, M. (2007). The elusive nature of executive functions: A review of our current understanding. *Neuropsychology Review*, 17, 213–233.
- LeDoux, J. (2012). Rethinking the emotional brain. *Neuron*, 73, 653–676.
- LeDoux, J. E., & Hofmann, S. G. (2018). The subjective experience of emotion: A fearful view. *Current Opinion in Behavioral Sciences*, 19, 67–72.
- Lin, W. L., Tsai, P. H., Lin, H. Y., & Chen, H. C. (2014). How does emotion influence different creative performances? The mediating role of cognitive flexibility. *Cognition & Emotion*, 28, 834–844.
- Luck, S. J., Woodman, G. F., & Vogel, E. K. (2000). Event-related potential studies of attention. *Trends in Cognitive Sciences*, 4, 432–440.
- MacDonald, A. W., Cohen, J. D., Stenger, V. A., & Carter, C. S. (2000). Dissociating the role of the dorsolateral prefrontal and anterior cingulate cortex in cognitive control. *Science*, 288, 1835–1838.
- Miller, E. K., & Wallis, J. D. (2009). Executive function and higher-order cognition: Definition and neural substrates. In L. Squire (Ed.), *Encyclopedia of neuroscience* (pp. 99–104). Oxford: Academic Press. doi:10.1016/B978-0-08045046-9.00418-6
- Monchi, O., Petrides, M., Petre, V., Worsley, K., & Dagher, A. (2001). Wisconsin card sorting revisited: Distinct neural circuits participating in different stages of the task identified by event-related functional magnetic resonance imaging. *Journal of Neuroscience*, 21, 7733–7741.
- Moriguchi, Y., Sakata, Y., Ishibashi, M., & Ishikawa, Y. (2015). Teaching others rule-use improves executive function and prefrontal activations in young children. *Frontiers in Psychology*, 6, 894.
- Nyhus, E., & Barceló, F. (2009). The wisconsin card sorting test and the cognitive assessment of prefrontal executive functions: A critical update. *Brain and Cognition*, 71, 437–451.
- Ochsner, K. N., Ray, R. D., Cooper, J. C., Robertson, E. R., Chopra, S., Gabrieli, J. D., & Gross, J. J. (2004). For better or for worse: Neural systems supporting the cognitive down-and up-regulation of negative emotion. *Neuroimage*, 23, 483–499.
- Perone, S., Almy, B., & Zelazo, P. D. (2018). Toward an understanding of the neural basis of executive function development. In R. Gibb & B. Kolb (Eds.), *The neurobiology of brain and behavioral development* (pp. 291–314). Oxford: Academic Press. doi:10.1016/B978-0-12-804036-2.00011-X
- Pessoa, L. (2008). On the relationships between emotion and cognition. *Nature Reviews. Neuroscience*, 9, 148–158.
- Pessoa, L. (2017). A network model of the emotional brain. *Trends in Cognitive Sciences*, 21, 357–371.
- Pessoa, L. (2019). Embracing integration and complexity: Placing emotion within a science of brain and behaviour. *Cognition & Emotion*, 33, 55–60.
- Peterson, E., & Welsh, M. C. (2014). The development of hot and cool executive functions in childhood and adolescence: Are we getting warmer? In S. Goldstein & J. A. Naglieri (Eds.), *Handbook of executive functioning* (pp. 45–65). New York, NY: Springer. doi:10.1007/978-1-4614-8106-5_4
- Rossion, B., & Jacques, C. (2011). The N170: Understanding the time-course of face perception in the human brain. In E. S. Kappenman & S. J. Luck (Eds.), *The Oxford handbook of ERP components* (pp. 115–142). Oxford: Oxford University Press. doi:10.1093/oxfordhpb/9780195374148.013.0064

- Vásquez-Rosati, A., Montefusco-Siegmund, R., López, V., & Cosmelli, D. (2019). Emotional influences on cognitive flexibility depend on individual differences: A combined micro-phenomenological and psychophysiological study. *Frontiers in Psychology, 10*, 1138.
- Vogel, E. K., & Luck, S. J. (2000). The visual N1 component as an index of a discrimination process. *Psychophysiology, 37*, 190–203.
- Zelazo, P. D. (2015). Executive function: Reflection, iterative reprocessing, complexity, and the developing brain. *Developmental Review, 38*, 55–68.
- Zelazo, P. D., Frye, D., & Rapus, T. (1996). An age-related dissociation between knowing rules and using them. *Cognitive Development, 11*, 37–63.
- Zelazo, P. D., Müller, U., Frye, D., Marcovitch, S., Argitis, G., Boseovski, J., ... Sutherland, A. (2003). The development of executive function in early childhood. *Monographs of the Society for Research in Child Development, 68*(3), vii–137.

7. EXPERIMENTO 3

Modulación conductual y electrofisiológica de la memoria de trabajo por emoción.

A continuación, se presentan los Métodos, Resultados y Conclusiones del proceso experimental que contribuye a dar cumplimiento de los siguientes objetivos específicos de investigación:

2. Evaluar el efecto del nivel de excitación (arousal) de los estímulos afectivos sobre el desempeño de tareas que miden funciones ejecutivas, utilizando los tiempos de reacción y la precisión como variables respuesta.
4. Evaluar el efecto de los niveles de excitación de los estímulos afectivos sobre componentes de ERPs de latencia específica, utilizando la amplitud como variable respuesta.

7.1. MÉTODOS

7.1.1. Participantes

Participaron de este estudio 39 sujetos (34 mujeres) con una media de edad de 23,59 años ($SD = 5,15$). La muestra estuvo constituida por estudiantes universitarios de pregrado, pertenecientes a una muestra diferente a la previamente evaluada en el Experimento/Artículo 1. Los voluntarios fueron seleccionados entre los que firmaron el consentimiento informado, con el criterio adicional de que no hubiera presencia o historia de tratamiento farmacológico, dificultades de aprendizaje, discapacidad intelectual/sensorial, problemas visuales no corregibles y problemas emocionales.

La muestra se dividió aleatoriamente en dos grupos de participantes, los cuales desarrollaron distintas versiones de una misma tarea. El grupo que desarrolló la tarea fría estuvo formado por 15 mujeres y 3 hombres, con un promedio de edad de 24,06 años ($SD = 4,82$). Por otra parte, el grupo que desarrolló la tarea caliente estuvo constituido por 19 mujeres y 2 hombres, con un promedio de edad de 23,19 años ($SD = 5,51$).

Al comparar los datos descriptivos de ambos grupos, no se presentaron diferencias estadísticamente significativas en la distribución por género, $\chi^2(1, N = 39) = 0,44$, $p = 0,51$, como tampoco para la distribución por edad, $t(37) = 0,52$, $p = 0,61$.

7.1.2. Instrumentos y procedimientos

1-back visuoespacial. Se utilizó una adaptación computacional de la tarea n-back visuoespacial tradicionalmente empleada para evaluar la memoria de trabajo en población adulta (Kirchner, 1958). En esta tarea se presenta un objeto en la pantalla durante un breve periodo de tiempo, tras el cual el sujeto debe memorizar su ubicación. En esta adaptación (ver Figura 1A de

Experimento/Artículo 1), la tarea se realizó en una cuadrícula de 3x3 posiciones, donde un estímulo aparece aleatoriamente en una de las nueve posiciones posibles durante 1000 ms. En una siguiente ventana de presentación, los sujetos debían pulsar una tecla en cuanto detectaron una repetición de la ubicación del estímulo presentado anteriormente. Se crearon dos condiciones experimentales, donde los participantes fueron expuestos a una de las dos condiciones de manera previamente aleatorizada y balanceada en número de ensayos por condición. Se consideró como condición de baja saliencia emocional (i.e., WM condición fría) aquella tarea cuyos estímulos visuales representan una figura geométrica de color rojo. En contraste, se consideró como condición de alta saliencia emocional (i.e., WM condición caliente) aquella tarea cuyos estímulos visuales representan una figura de color rojo equivalente a la condición fría, pero conteniendo un rostro con expresión emocional de ira. La tarea estuvo compuesta por una secuencia de 80 ensayos (en cada versión) presentados aleatoriamente de forma individual, de los cuales 20 eran estímulos objetivos (repeticiones). Se pidió expresamente a los participantes que respondieran lo más rápido posible. Los estímulos visuales fueron previamente validados por una submuestra de participantes en cuanto a su nivel de saliencia emocional y confiabilidad de la expresión.

7.1.3. Análisis de datos conductuales

Para el análisis de los datos conductuales, se registraron medidas de tiempo de reacción (RT, acrónimo del inglés reaction times) y precisión de la respuesta (ACC, acrónimo del inglés accuracy). A partir de estos datos, se realizó el cálculo de estadísticos descriptivos y pruebas de comparación de medias (t de Student para muestras independientes), utilizando el software IBM SPSS versión 21.

7.1.4. Análisis de datos electrofisiológicos

Durante cada prueba se registró la actividad eléctrica cerebral de los participantes con un dispositivo de 64 canales de la empresa Electrical Geodesic

Inc. y utilizando el software NetStation versión 4.0, a una frecuencia de muestreo de 250 Hz. A continuación, se importaron los registros a la herramienta EEGLab versión 2020.0 (Delorme & Makeig, 2004) del software MATLAB versión R2014, donde se les aplicó un filtro de pasa banda digital offline de entre 0,30 Hz y 30 Hz. Además, se realizó el rechazo de artefactos por comprobación visual, corrección de canales a través de rechazo automático de canales y posterior interpolación, y remoción de componentes oculares y musculares a través de análisis de componentes principales (ICA) y la extensión ICLabel versión 1.3 (Pion-Tonachini et al., 2019). Acto seguido, las grabaciones continuas de EEG se segmentaron desde 200 ms antes del inicio de la presentación del estímulo visual hasta 800 ms después del inicio de la presentación. Por otro lado, el proceso de obtención de los ERPs se realizó con la extensión ERPLab versión 8.10 (Lopez-Calderon & Luck, 2014). Posteriormente, se utilizó el software MATLAB versión R2014 para el análisis estadístico de la actividad electroencefalográfica. A través de este software se realizó la comparación del promedio de los peak de amplitud de componentes específicos de cada ERP, utilizando las pruebas t de Student para muestras independientes (para comparaciones intra sujetos) y relacionadas (para comparaciones entre sujetos). A nivel específico de la tarea 1-back visuoespacial, se realizaron comparaciones entre los componentes P3, calculando el promedio de la amplitud en una latencia específica de 470 ms, seleccionada de acuerdo la visualización de mayores diferencias de amplitud al considerar ambas condiciones de arousal afectivo, dentro de una ventana temporal de entre 350 y 550 ms, tradicionalmente utilizada para la evaluación de este componente ERP en tareas de Memoria de Trabajo (Nakao et al., 2012; Papageorgiou et al., 2011; Polich, 2007; Watter et al., 2001, Yang et al., 2017).

7.1.5. Consideraciones éticas

El presente estudio cuenta con la aprobación del Comité de Ética Institucional de la Universidad del Desarrollo para cada uno de los procedimientos experimentales. De acuerdo con la Declaración de Helsinki, todos los participantes firmaron un consentimiento informado antes de completar las encuestas sociodemográficas y participar del laboratorio. Además, se entregó una compensación a los participantes tras su participación la que consistió en un refrigerio saludable.

7.2. RESULTADOS

7.2.1. Resultados conductuales

Al considerar la saliencia emocional como condición de comparación, los resultados muestran una diferencia estadísticamente significativa respecto al tiempo de reacción ($t(37) = -3,38, p = ,002$), entre la condición de baja saliencia emocional ($M = 384,07$ ms, $SD = 47,48$ ms) y la condición de alta saliencia emocional ($M = 439,08$ ms, $SD = 53,37$ ms). Asimismo, los resultados muestran una diferencia estadísticamente significativa en términos de la precisión de las respuestas ($t(20) = 2,34, p = ,03$), entre la condición de baja saliencia emocional ($M = 1,00, SD = ,00$) y la condición de alta saliencia emocional ($M = 0,99, SD = ,001$). En otras palabras, en términos conductuales se observó para la condición de baja saliencia emocional un rendimiento más rápido de la tarea acompañado de un aumento en la precisión de las respuestas.

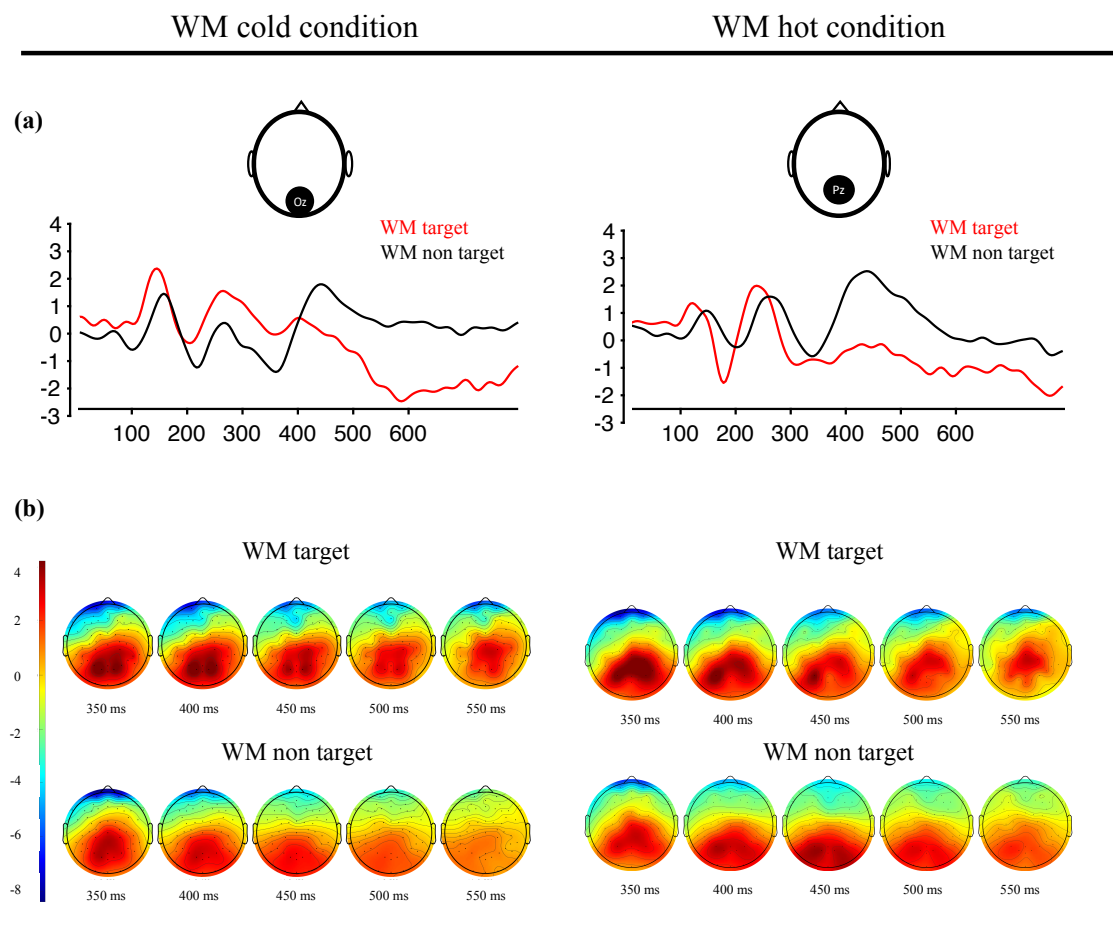
7.2.2. Resultados electrofisiológicos

Los resultados electrofisiológicos se analizaron considerando las respuestas de un total de 37 sujetos (33 mujeres). Para la evaluación de los ERPs, se consideraron tanto las condiciones de saliencia emocional (i.e., WM condición fría y caliente) como los ensayos registrados (i.e., target y non-target response). Particularmente, las mayores diferencias de amplitud se detectaron a los 470 ms posterior a la presentación del estímulo. A esta latencia, la diferencia se vio principalmente reflejada en el registro correspondiente al electrodo E36 (Pz) de ubicación parietal central, para la condición de alta saliencia emocional, y en el electrodo E37 (Oz) de ubicación occipital central, para la condición de baja saliencia emocional. En general, los ERPs de ambas condiciones evaluadas comparten claramente tres componentes, en primer lugar, un peak positivo alrededor de los 150 ms (P1), luego un segundo peak positivo alrededor de los 250 ms (P2) y, por último, ambos presenta un tercer peak positivo alrededor de

los 470 ms (P3). Las principales diferencias de amplitud se observaron en la condición de alta saliencia afectiva (WM hot condition) entre condiciones target ($M = 0,40$, $SD = 4,58$) y non-target ($M = 2,20$, $SD = 4,26$), con una diferencia de amplitud estadísticamente significativa, $t(38) = -2,71$, $p = 0,010$ (ver Figura 1a). Por otro lado, a nivel de topológico se observaron diferencias en términos de amplitud y latencia, que se expresan en regiones diferentes para cada una de las condiciones de saliencia emocional (ver Figura 1b).

Figura 1

Modulación electrofisiológica por emoción en una tarea simple de memoria de trabajo. Resultados electrofisiológicos de dos versiones de una misma tarea de memoria de trabajo (1-back), con diferencias en la carga afectiva de los estímulos visuales presentados (i.e., WM condición fría y caliente) y ensayos registrados (i.e., target y non-target response). (a) Gráficos de modulación de la amplitud del potencial eléctrico (μV) respecto a la latencia (ms) de potenciales evocados (ERPs) en electrodos de localización centro-occipital (Oz) y centro-parietal (Pz). (b) Gráficos de modulación de la amplitud del potencial eléctrico (μV) a nivel topográfico en una ventana de tiempo de entre 350 y 550 ms.



7.3. DISCUSIÓN

El presente experimento aporta nuevos conocimientos sobre el rol de la emoción en el procesamiento neurocognitivo y la conducta durante una tarea simple de memoria de trabajo visuoespacial. En términos generales, es posible evidenciar que una tarea simple de WM visuoespacial con estímulos de alta saliencia emocional se transforma en una tarea distinta a su contraparte con estímulos de baja saliencia emocional. Al respecto, ambas versiones de la tarea presentan diferentes desempeños a nivel conductual, siendo una prueba más sencilla para quienes respondieron a estímulos visuales de bajo nivel de arousal afectivo. Por otra parte, a nivel neurocognitivo existe una modulación afectiva de todo un proceso en el tiempo, lo que se manifiesta tanto en el patrón de presentación de componentes ERPs como a nivel topológico (ver Figura 1). Lo anterior implica que aunque se utilizaron dos versiones de una misma tarea éstas no sean comparables entre sí, lo que a su vez explicaría la nula diferencia de amplitud entre condiciones afectivas.

El principal hallazgo del experimento es que durante una tarea simple de carga de la WM visuoespacial, dentro de la condición de alta saliencia emocional, un estímulo *target* produce un cierre más fácil de la tarea, lo que se evidencia en una menor amplitud de un potencial tardío de tipo P3 de localización centro-parietal. De esta manera, la emoción facilita la administración de recursos neurocognitivos, siendo liberados cuando los sujetos encuentran un estímulo *target* dentro la prueba, lo que ocurre en torno a una condición de alto *arousal* afectivo en donde la tarea conductualmente es más compleja.

Tomando como referencia la literatura previa, a la fecha y por lo revisado en Scopus y WoS, existen dos estudios parcialmente comparables donde los voluntarios experimentales se enfrentaron a una tarea de tipo n-back visuoespacial con estímulos emocionales. En ambos estudios existen diferencias

estadísticamente significativas en el desempeño conductual y neurocognitivo de los sujetos al comparar condiciones que difieren en términos afectivos o de ensayos de la tarea (Barker & Bialystok, 2019; Hering et al., 2018).

Particularmente, en el estudio de Hering et al. (2018) los sujetos contestaron a estímulos del *international affective picture system*, en donde quienes se vieron enfrentados a estímulos de valencia negativa fueron igual de precisos en responder, pero más lentos, en comparación a los participantes enfrentados a estímulos de valencia neutra. En este caso, los resultados de la literatura confirman parcialmente aquellos evidenciados en el presente experimento, donde existe un aumento de la velocidad de respuesta en aquellos ensayos con niveles bajos o neutros de saliencia afectiva. No obstante, es importante mencionar que el estudio de Hering et al. (2018) no evaluó previamente la dimensión de arousal afectivo, por lo que se consideran las valencias de los estímulos visuales como condiciones comparables. Por otro lado, los autores encontraron diferencias significativas de amplitud entre condiciones de valencia afectiva de un componente LPP, en las fases de codificación y reconocimiento de la tarea de WM. Al respecto, estos resultados se diferencian a los encontrados en la presente investigación, en donde las condiciones diferenciadas por arousal afectivo resultaron no ser comparables. Este fenómeno podría deberse a las características de los estímulos utilizados en cada tarea, o bien, a la diferencia de la dimensión afectiva evaluada en cada investigación.

Por otro lado, en el estudio de Barker y Bialystok (2019) un grupo de sujetos contestaron a estímulos consistentes en expresiones faciales de enfado, felicidad y neutrales, mientras que otro grupo de sujetos contestaron a estímulos constituidos por figuras, en vez de rostros. La prueba de memoria de trabajo consistió en memorizar una serie de letras (estímulos *target*) que aparecen al centro de la pantalla, entre dos rostros o figuras. Al respecto, los resultados conductuales no evidenciaron diferencias significativas entre las condiciones de

valencia afectiva de los estímulos, considerando la precisión de las respuestas y la velocidad de reacción de los sujetos. Por otro lado, los autores encontraron diferencias significativas a nivel del componente ERP P3 de localización parietal, al considerar la valencia afectiva de los estímulos, con mayor amplitud en valencia negativa en comparación a estímulos neutros. Asimismo, los investigadores encontraron diferencias significativas al considerar los tipos de estímulos (*target* y *non-target*), siendo mayor la amplitud para aquellos estímulos *target*. De esta manera, esta investigación aporta evidencia importante y contrastable con los resultados obtenidos en el presente experimento, donde se observan diferencias tanto a nivel conductual como neuroelectrofisiológico. Cabe mencionar que si bien el estudio de Barker y Bialystok (2019) detectó un patrón de componentes ERPs similar a los encontrados por nuestra investigación para la condición de alta saliencia emocional, los resultados son opuestos, al existir un mayor reclutamiento de actividad neurocognitiva en los estímulos *target*. Es posible hipotetizar que los resultados pudieron diferir por las características de los estímulos utilizados en ambas tareas, como también en la diferencia de la dimensión afectiva evaluada.

En base a lo anterior, podemos concluir que el presente experimento ha permitido evidenciar a grandes rasgos el rol modulador que presenta la emoción sobre una tarea simple de memoria de trabajo. Particularmente, se han podido contrastar evidencias a nivel conductual y neuroelectrofisiológico de la influencia de la dimensión de *arousal* afectivo sobre el desempeño y el procesamiento neurocognitivo que ocurren durante una tarea de tipo 1-back visuoespacial. De esta forma, esta investigación ha pretendido aportar evidencias adicionales al objetivo específico de “*Evaluar el efecto del nivel de excitación (arousal) de los estímulos afectivos sobre el desempeño de tareas que miden funciones ejecutivas, utilizando los tiempos de reacción y la precisión como variables respuesta.*”, valiéndose para ello una muestra diferente a la obtenida para el

Experimento/Artículo 1. Asimismo, este estudio ha contribuido con nuevos conocimientos empíricos relacionados al cumplimiento del objetivo específico de *“Evaluar el efecto de los niveles de excitación de los estímulos afectivos sobre componentes de ERPs de latencia específica, utilizando la amplitud como variable respuesta.”*, esta vez, diferenciándose del Experimento/Artículo 2 en tanto que el presente experimento pretende dar a conocer la modulación afectiva a nivel neurocognitivo de la memoria de trabajo, subproceso de las FEs que hasta ahora no presentaba estudios que evaluaran el rol de la saliencia emocional en su modulación.

Como limitaciones de la presente investigación vale mencionar el bajo número muestral y la estrategia de reclutamiento por conveniencia de los participantes, lo cual pudo suponer un sesgo de las características resultantes de la misma. Además, se deberá considerar para futuros estudios una fase de revisión y comparación de la equivalencia de los estímulos utilizados en cada prueba, razón que pudo contribuir a las marcadas diferencias de los patrones neurocognitivos encontrados. De igual forma, se sugiere considerar para futuras evaluaciones la incorporación de tareas de mayor complejidad (por ejemplo, 2-back y 3-back), como también sumar ensayos o condiciones que permitan también evaluar la dimensión afectiva de valencia (por ejemplo, estímulos de valencia neutra, positiva y negativa) en tareas de memoria de trabajo visuoespacial.

8. EXPERIMENTO 4

Modulación conductual de las funciones ejecutivas por emoción en una situación de estrés.

A continuación, se presentan los Métodos, Resultados y Conclusiones del proceso experimental que contribuye a dar cumplimiento parcial al siguiente objetivo específico de investigación:

5. Evaluar la influencia que tiene la inducción de estrés sobre la relación que existe entre las dimensiones afectivas de los estímulos y las respuestas conductuales y neurofisiológicas de los sujetos.

8.1. MÉTODOS

8.1.1. Participantes

Participaron de este estudio 40 sujetos (31 mujeres) con una media de edad de 21,75 años ($SD = 2,03$). La muestra estuvo constituida por estudiantes universitarios de pregrado, seleccionados entre los que firmaron el consentimiento informado, con el criterio adicional de que no hubiera presencia o historia de tratamiento farmacológico, dificultades de aprendizaje, discapacidad intelectual/sensorial, problemas visuales no corregibles y problemas emocionales.

La muestra consistió en dos grupos de igual número de participantes. El grupo experimental estuvo formado por 17 mujeres y 3 hombres, con un promedio de edad de 22,6 años ($SD = 1,47$). Por otra parte, el grupo control estuvo constituido por 14 mujeres y 6 hombres, con un promedio de edad de 20,9 años ($SD = 2,19$), quienes fueron voluntarios del trabajo conductual del Experimento/Artículo 1 en su versión fría y, por lo tanto, brindan datos secundarios para esta investigación.

Al comparar los datos descriptivos de ambos grupos, no se presentan diferencias estadísticamente significativas en la distribución por género, $\chi^2(1, N = 40) = 0,17$, $p = 0,67$. En cuanto a la variable Edad, existe una diferencia estadísticamente significativa entre ambos grupos, $t(38) = -2,88$, $p = 0,007$, la cual revela que los sujetos del grupo experimental son en promedio mayores que los participantes del grupo control.

8.1.2. Instrumentos y procedimientos

Los instrumentos de evaluación de funcionamiento ejecutivo utilizados en el presente experimento se corresponden con aquellos de condición fría utilizados en el estudio conductual del Experimento/Artículo 1. Sin embargo, en el transcurso de cada una de las pruebas se realizó una modificación en el

procedimiento del Grupo Experimental. Los participantes de este grupo, luego de leer y firmar el consentimiento informado, ingresan a la sala de evaluación conductual, donde avistan el equipamiento convencional, una cámara de video y también a un evaluador usando un delantal blanco. El evaluador se presenta e indica al participante en qué consiste la tarea a realizar, también señala “estaré presente durante todo el tiempo observando y evaluando su desempeño, y disponible para cualquier duda que se le presente”. Además, termina diciendo que “entre menos tiempo ocupe para realizar la tarea es mejor”. Por otro lado, el evaluador –durante el transcurso de la tarea– permanece en la sala, revisa un cronómetro, se pasea por ella y se acerca al sujeto de manera intermitente, tomando notas en su cuaderno. Cabe mencionar que tanto la presencia de una cámara de video, como del evaluador con delantal blanco –incluido su comportamiento y la consigna utilizada– constituyen la manipulación experimental.

8.1.3. Análisis de datos conductuales

Para el análisis de los datos conductuales, se registraron medidas de Tiempo de Reacción (RT) y Precisión de la Respuesta (ACC). A partir de estos datos, se realizó el cálculo de estadísticos descriptivos y pruebas de comparación de medias (t de Student para muestras independientes), utilizando el software IBM SPSS versión 21.

8.1.4. Consideraciones éticas

El presente estudio cuenta con la aprobación del Comité de Ética Institucional de la Universidad del Desarrollo para cada uno de los procedimientos experimentales. De acuerdo con la Declaración de Helsinki, todos los participantes firmaron un consentimiento informado antes de comenzar el procedimiento experimental.

8.2. RESULTADOS

Se presentan a continuación los resultados derivados del contraste estadístico entre el Grupo Experimental (i.e., vinculados a la situación estresora) y el Grupo Control, organizados de acuerdo a las pruebas de evaluación de FEs. Además, la Tabla 1 incorpora los estadísticos descriptivos para cada una de las condiciones experimentales y subprocesos de las funciones ejecutivas evaluadas.

8.2.1. Control inhibitorio

En relación a la tarea Go/No-Go, el contraste de medias entre cada uno de los grupos se vincula a dos resultados diferentes para las variables conductuales evaluadas. Así, para la variable Tiempo de Reacción, se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre los grupos evaluados, $t(38) = 7,22$, $p < ,001$, siendo el tiempo de reacción menor para el Grupo Experimental ($M_E = 304,91 \pm 40,01$ ms; $M_C = 394,53 \pm 38,46$ ms). En cambio, para la variable Precisión de la Respuesta no se presentaron diferencias estadísticamente significativas entre los grupos, $t(38) = -1,04$, $p = ,30$.

8.2.2. Memoria de trabajo

Respecto a los resultados de la tarea 1-back, al comparar los promedios del Grupo Experimental con los del Grupo Control, no se presentaron diferencias estadísticas significativas para ninguna de las variables evaluadas. De esta forma, la variable RT no presentó diferencias estadísticamente significativas entre los grupos evaluados, $t(38) = 1,55$, $p = ,13$ ($M_E = 337,47 \pm 99,73$ ms; $M_C = 381,08 \pm 77,90$ ms). Asimismo, la variable ACC no presentó diferencias estadísticamente significativas entre ambos grupos, $t(38) = -0,39$, $p = ,70$ ($M_E = 93,13 \pm 19,33$; $M_C = 90,94 \pm 16,16$).

8.2.3. Flexibilidad cognitiva

En cuanto a la tarea Dimensional Change Card Sorting (DCCS), los contrastes de los promedios tanto de la variable RT como de la variable ACC resultaron ser estadísticamente distintos. De esta manera, para la variable Tiempo de Reacción, se presentaron diferencias significativas entre los grupos evaluados, $t(38) = 2,02$, $p = ,050$, siendo el tiempo de reacción menor en el Grupo Experimental ($M_E = 875,55 \pm 204,19$ ms; $M_C = 987,12 \pm 139,12$ ms). Similar a lo anterior, al considerar la variable Precisión de la Respuesta dentro de esta misma prueba, los resultados arrojaron diferencias estadísticamente significativas, $t(38) = 1,12$, $p = ,027$, observándose una menor precisión en las respuestas del Grupo Experimental ($M_E = 77,02 \pm 17,02$; $M_C = 82,69 \pm 15,01$).

Tabla 1

Resultados descriptivos para las pruebas de evaluación de Funciones Ejecutivas

Variable	Grupos			
	Experimental		Control	
	M	SD	M	SD
WM-RT (ms)	337,47	99,73	381,08	77,9
WM-ACC (%)	93,13	19,33	90,94	16,15
CI-RT (ms)	304,91	40,01	394,53	38,46
CI-ACC (%)	99,91	0,407	99,73	0,66
FC-RT (ms)	875,55	204,19	987,12	139,12
FC-ACC (%)	77,02	17,02	82,69	15,01

Nota. Grupo Experimental, $n = 20$; Grupo Control, $n = 20$; WM = memoria de trabajo; CI = control inhibitorio; FC = flexibilidad cognitiva; RT = tiempo de reacción; ACC = precisión de la respuesta.

8.3. DISCUSIÓN

La presente investigación aporta nuevas evidencias sobre el rol que tiene la emoción en el desempeño conductual que resulta durante la realización de pruebas que evalúan los tres subcomponentes de las FEs (i.e., control inhibitorio, memoria de trabajo y flexibilidad cognitiva). Al respecto, se compararon dos condiciones experimentales que ponen de manifiesto la importancia no tan solo de las características afectivas propias de la tarea sino también de la modulación afectiva que aporta el contexto experimental. En este caso, el grupo experimental estuvo sometido a un contexto de estrés social, similar al utilizado por otros investigadores (c.f., Allen et al., 2017; Gathmann et al., 2014; Silva et al., 2017), mientras que el grupo control desarrolló la tarea sin intervención externa.

En términos generales, se evidenciaron efectos conductuales diferenciados de acuerdo a la complejidad y demanda cognitiva de la tarea. Al respecto, el contexto de estrés social moduló en mayor medida el desempeño de la prueba de flexibilidad cognitiva, seguido de la prueba de control inhibitorio, sin presentar efectos estadísticos en la tarea de carga de la memoria de trabajo. Específicamente, la prueba de evaluación de flexibilidad cognitiva mostró diferencias estadísticas tanto en el desempeño como en el tiempo de reacción, donde los sujetos expuestos a la situación de estrés social vieron un aumento de su velocidad de reacción acompañada de una reducción de la precisión de las respuestas. Similar resultado se obtuvo para la prueba de evaluación de control inhibitorio, pero únicamente en términos de la velocidad de reacción (ver Tabla 1).

Tomando como referencia la literatura previa, la naturaleza de estos resultados responde a la diferencia en la demanda de recursos neurocognitivos asociados a cada una de las tareas de funcionamiento ejecutivo (Bausela, 2014), en tanto se sabe que la flexibilidad cognitiva es un subproceso de mayor complejidad (Kortte et al., 2002; Diamond & Lee, 2011) y, por lo tanto, el desempeño en la

tarea estará en mayor medida determinado por la sobrecarga del sistema neurocognitivo producto de una clave contextual adicional. Al respecto, lo anterior se ha visto en algunas investigaciones previas, donde los sujetos presentan un menor desempeño en tareas de FC al ser expuestos a una situación de estrés social (Alexander et al., 2007), como también en situaciones de estrés crónico (Shields et al., 2016). De igual manera sucede con el desempeño del control inhibitorio, donde se ha evidenciado un menor desempeño de los participantes expuestos a una situación de estrés social (Roos et al., 2017). Por otro lado, la ausencia de una diferencia estadísticamente significativa entre las condiciones experimentales dentro de la prueba de WM podría ser explicada por la naturaleza simple (1-back) y mecánica de la tarea, lo que pudo llevar a una menor demanda neurocognitiva para los sujetos y, por lo tanto, permanecer con mayores recursos para enfrentar la situación de estrés social.

De acuerdo a lo anterior, podemos concluir que el presente experimento ha permitido evidenciar a grandes rasgos el rol modulador que presenta el contexto sobre el desempeño de tareas de funcionamiento ejecutivo. Particularmente, se ha podido contrastar evidencia a nivel conductual de la influencia de un protocolo de estrés social sobre el desempeño de tareas de evaluación de control inhibitorio, memoria de trabajo y flexibilidad cognitiva. De esta forma, esta investigación aporta resultados parciales al objetivo específico de *“Evaluar la influencia que tiene la inducción de estrés sobre la relación que existe entre las dimensiones afectivas de los estímulos y las respuestas conductuales y neurofisiológicas de los sujetos.”*, valiéndose de una muestra diferente a la obtenida para el Experimento/Artículo 1 en la conformación del Grupo Experimental.

Como limitaciones de la presente investigación vale mencionar el bajo número muestral y la estrategia de reclutamiento por conveniencia de los participantes, lo cual pudo suponer un sesgo de las características resultantes de la misma.

Además, se debe considerar para futuros estudios la aplicación de un instrumento o protocolo que pueda detectar y evidenciar de manera más precisa los cambios en los niveles de estrés del sujeto. En este sentido, se sugiere para futuras evaluaciones que sigan la misma línea de evidencia la utilización de un instrumento de medición de respuestas galvánicas relacionadas a los niveles de estrés, cuyos datos son recopilados de manera directa como respuesta galvánica de la piel (Shi et al., 2007), o bien, a recopilar muestras fisiológicas de cortisol (e.g., Silva et al., 2017). Asimismo, se sugiere realizar la aplicación de un instrumento de medición del estado actual de estrés (por ejemplo, el *State Trait Anxiety Inventory*) en dos momentos del experimento, por ejemplo, antes de la manipulación experimental, y luego finalizadas las tareas ejecutivas, para así obtener datos de la ansiedad basal de los individuos y posteriormente calcular las diferencias.

Por otro lado, es importante mencionar que debido a las contingencias sanitarias (pandemia por COVID-19), parte de los procedimientos y del objetivo específico al que apunta este experimento ha sido parcialmente cubierto. Por lo tanto, es importante rescatar que estos son hallazgos preliminares pero que dan luces a un efecto que podría estar aconteciendo más allá de lo conductual, modificando los patrones neurocognitivos en cada una de las pruebas de FEs. De esta manera, se sugiere retomar esta investigación cuando las condiciones sanitarias lo permitan, con el fin de determinar el efecto modulador que estaría produciendo el contexto de estrés sobre las tareas presentadas, tanto a nivel conductual como a nivel neurocognitivo.

Por último, cabe decir que futuras líneas de investigación pudieran ser orientadas a la relación de este fenómeno con otros procesos cognitivos de igual o mayor complejidad, por ejemplo el aprendizaje, el razonamiento y el pensamiento. No es muy lejano pensar en cómo un evaluador de delantal blanco puede incidir no sólo en procesos de medición médica, como ha sido ampliamente estudiado, sino

también en procesos de evaluación y tratamiento psicoterapéutico, donde este fenómeno pudiera impactar de manera positiva o negativa dicho proceso. Por otro lado, los resultados de esta investigación cuentan con al menos una parcial relevancia práctica en el área educacional y académico, en cuanto a que en el proceso de enseñanza-aprendizaje estamos constantemente privilegiando uno u otro proceso ejecutivo, siendo de cotidianidad estar inmersos en contextos que per se son estresores sociales, siendo necesario aportar mayores conocimientos para incorporar prácticas pedagógicas que estimulen o reduzcan ciertos procesos, o bien, los articulen en función del contexto situacional del sujeto para obtener un mayor y óptimo resultado.

9. CONCLUSIONES

Los resultados derivados de esta tesis de investigación, en su conjunto, permiten evidenciar como gran hallazgo la existencia de un correlato entre la conducta y el procesamiento neurocognitivo durante las tareas que evalúan los subprocesos de funcionamiento ejecutivo. Este correlato se manifiesta en la posibilidad de deducir un mismo efecto a dos niveles explicativamente diferenciados. Al respecto, parte de los resultados dan cuenta de una diferencia en el tiempo de respuesta de los sujetos cuando son enfrentados a dos versiones de una misma tarea, que difieren en la saliencia afectiva de sus estímulos. Otro conjunto de resultados revelan que estas diferencias a nivel de desempeño conductual son acompañadas de diferencias en términos de la actividad neuroelectrofisiológica, evidenciando diferencias en la amplitud de componentes ERP específicos cuando los estímulos difieren en términos de saliencia afectiva.

De esta manera, el presente trabajo valida parcialmente la hipótesis general de investigación, señalando que esencialmente una de las dimensiones afectivas de los estímulos visuales (i.e., saliencia emocional) modula significativamente tanto la conducta como el procesamiento neurocognitivo, en tareas de funcionamiento ejecutivo. Además, esta investigación corrobora que un contexto de estrés logra modificar las respuestas conductuales de los sujetos en las mismas tareas .

Finalmente, la presente investigación se proyecta como una contribución a una reciente línea de investigación dentro de las Ciencias del Desarrollo y la Neurociencia Afectiva, con potencial impacto en la investigación de fenómenos neuropsicológicos, pero también en la educación, donde el proceso de enseñanza-aprendizaje es un experimento natural del funcionamiento ejecutivo, que indudablemente se vería muy fortalecido por una comprensión más precisa de los mecanismos a la base de la relación existente entre cognición y emoción.

10. BIBLIOGRAFÍA

- Alexander, J. K., Hillier, A., Smith, R. M., Tivarus, M. E., & Beversdorf, D. Q. (2007). Beta-adrenergic modulation of cognitive flexibility during stress. *Journal of cognitive neuroscience*, 19(3), 468-478.
- Allen, A. P., Kennedy, P. J., Dockray, S., Cryan, J. F., Dinan, T. G., & Clarke, G. (2017). The trier social stress test: principles and practice. *Neurobiology of stress*, 6, 113-126.
- Alloway, T. P., Gathercole, S. E., Willis, C., & Adams, A.-M. (2004). A structural analysis of working memory and related cognitive skills in young children. *Journal of Experimental Child Psychology*, 87(2), 85–106. doi:10/c7gph3
- Alvarez, J. A., & Emory, E. (2006). Executive function and the frontal lobes: A meta-analytic review. *Neuropsychology Review*, 16(1), 17-42. doi:10/dwm7bs
- Anderson, M. C., & Levy, B. J. (2009). Suppressing unwanted memories. *Current Directions in Psychological Science*, 18(4), 189-194.
- Awh, E., & Jonides, J. (2001). Overlapping mechanisms of attention and spatial working memory. *Trends in Cognitive Sciences*, 5(3), 119–126. doi:10/dz73cr
- Baddeley, A. (2003). Working memory: looking back and looking forward. *Nature Reviews Neuroscience*, 4(10), 829-839. doi:10/bz2gwb
- Banich, M. T. (2009). Executive function: The search for an integrated account. *Current directions in psychological science*, 18(2), 89–94. doi:10/d9nzgn
- Bari, A., & Robbins, T. W. (2013). Inhibition and impulsivity: behavioral and neural basis of response control. *Progress in neurobiology*, 108, 44-79.

- Barker, R. M., & Bialystok, E. (2019). Processing differences between monolingual and bilingual young adults on an emotion n-back task. *Brain and cognition*, 134, 29-43.
- Bausela-Herreras, E. (2014). Funciones ejecutivas: nociones del desarrollo desde una perspectiva neuropsicológica. *Acción psicológica*, 11(1), 21-34.
- Best, J. R., & Miller, P. H. (2010). A developmental perspective on executive function. *Child Development*, 81(6), 1641–1660. doi:10/fmbqgm
- Bower, G. H. (1981). Mood and memory. *American Psychologist*, 36(2), 129. doi:10/dsmtnx
- Bradley, M. M., Codispoti, M., Cuthbert, B. N., & Lang, P. J. (2001). Emotion and motivation I: defensive and appetitive reactions in picture processing. *Emotion*, 1(3), 276.
- Braver, T. S., Cohen, J. D., Nystrom, L. E., Jonides, J., Smith, E. E., & Noll, D. C. (1997). A parametric study of prefrontal cortex involvement in human working memory. *Neuroimage*, 5(1), 49-62. doi:10/c2whpj
- Bunge, S. A., & Souza, M. J. (2009). Executive function and higher-order cognition: Neuroimaging. En *Encyclopedia of Neuroscience* (pp. 111-116). Elsevier. doi:10.1016/B978-008045046-9.00414-9
- Carrive, P. (2009). Emotional Control of the Autonomic Nervous System. En *Encyclopedia of Neuroscience*(pp. 923-928). Elsevier.doi:10/dxgfj3
- Chalmers, D. J. (2010). *The character of consciousness*. Oxford: Oxford Univ. Press.
- Chao, L. L., & Knight, R. T. (1995). Human prefrontal lesions increase distractibility to irrelevant sensory inputs. *Neuroreport*, 6(12), 1605-1610.

- Damasio, A. (1994). *Descartes' error*. New York, NY: Grosset/Putnam.
- Damasio, A. R. (1999). *The Feeling of What Happens: Body and Emotion in the Making of Consciousness*. New York, NY: Harcourt Brace.
- Damasio, Antonio. (2003). Mental self: The person within. *Nature*, 423(6937), 227. doi:10/dh34pj
- Darwin, C. (1965). *The Expression of the Emotions in Man and Animals*. Chicago: University of Chicago Press.
- Delorme, A., & Makeig, S. (2004). EEGLAB: an open source toolbox for analysis of single-trial EEG dynamics including independent component analysis. *Journal of neuroscience methods*, 134(1), 9-21.
- Diamond, A. (2013). Executive Functions. *Annual Review of Psychology*, 64(1), 135-168. doi:10/b2m2
- Diamond, A., & Lee, K. (2011). Interventions shown to aid executive function development in children 4 to 12 years old. *Science*, 333(6045), 959-964.
- Dufey, M., & Maria Fernandez, A. (2012). Validity and reliability of the positive affect and negative affect schedule (PANAS) in chilean college students. *Revista Iberoamericana de Diagnóstico y Evaluación-E Avaliacao Psicologica*, 1(34), 157–173.
- Duncan, S., & Barrett, L. F. (2007). Affect is a form of cognition: A neurobiological analysis. *Cognition and emotion*, 21(6), 1184–1211. doi:10/chmbpk
- Ekman, P., Levenson, R. W., & Friesen, W. V. (1983). Autonomic nervous system activity distinguishes among emotions. *Science*, 221(4616), 1208-1210. doi:10/fv49vw

- Ekman, Paul. (1992). An argument for basic emotions. *Cognition & emotion*, 6(3-4), 169–200. doi:10/bh2cq3
- Ekman, Paul. (2004). What we become emotional about. En *Feelings and emotions. The Amsterdam symposium* (pp. 119–135).
- Etkin, A., Büchel, C., & Gross, J. J. (2015). The neural bases of emotion regulation. *Nature Reviews Neuroscience*, 16(11), 693-700. doi:10/gfdbzm
- Feng, X., Diamond, A., & Bialystok, E. (2007). Manipulating information in working memory: An advantage for bilinguals. En *Poster presented at the biennial meeting of the Society for Research in Child Development, Boston, MA*.
- Frank, M. J. (2006). Hold your horses: a dynamic computational role for the subthalamic nucleus in decision making. *Neural Networks*, 19(8), 1120–1136. doi:10/fs6j8h
- Fridja, N. H., Ortony, A., Sonnemans, J., & Clore, G. L. (1992). The complexity of intensity: Issues concerning the structure of emotion intensity. *Emotion*, 60–89.
- Gathmann, B., Schulte, F. P., Maderwald, S., Pawlikowski, M., Starcke, K., Schäfer, L. C., ... & Brand, M. (2014). Stress and decision making: neural correlates of the interaction between stress, executive functions, and decision making under risk. *Experimental brain research*, 232(3), 957-973.
- Gazzaley, A., & Nobre, A. C. (2012). Top-down modulation: Bridging selective attention and working memory. *Trends in cognitive sciences*, 16(2), 129–135. doi:10/fxprkn
- Goldman-Rakic, P. S. (1995). Cellular basis of working memory. *Neuron*, 14(3), 477–485. doi:10/bwx427

- Heaton, R. K. (1993). Wisconsin card sorting test: computer version 2. *Odessa: Psychological Assessment Resources*.
- Hering, A., Kliegel, M., Bisiacchi, P. S., & Cona, G. (2018). The influence of emotional material on encoding and retrieving intentions: An ERP study in younger and older adults. *Frontiers in psychology*, 9, 114.
- Izard, C. E. (1993). Four systems for emotion activation: Cognitive and noncognitive processes. *Psychological review*, 100(1), 68. doi:10/dsq9zv
- Izard, C. E. (2009). Emotion theory and research: Highlights, unanswered questions, and emerging issues. *Annual review of psychology*, 60, 1–25. doi:10/cp6qfn
- James, W. (1884). What is an emotion? *Mind*, 9(34), 188–205. doi:10/ch377c
- Jurado, M. B., & Rosselli, M. (2007). The elusive nature of executive functions: a review of our current understanding. *Neuropsychology review*, 17(3), 213–233. doi:10/cw6rkt
- Kirchner, W. K. (1958). Age differences in short-term retention of rapidly changing information. *Journal of experimental psychology*, 55(4), 352.
- Kleinginna, P. R., & Kleinginna, A. M. (1981). A categorized list of emotion definitions, with suggestions for a consensual definition. *Motivation and emotion*, 5(4), 345–379. doi:10/czc4p4
- Kortte, K. B., Horner, M. D., & Windham, W. K. (2002). The trail making test, part B: cognitive flexibility or ability to maintain set?. *Applied neuropsychology*, 9(2), 106–109.
- Kötter, R., & Meyer, N. (1992). The limbic system: a review of its empirical foundation. *Behavioural Brain Research*, 52(2), 105–127. doi:10/d5qrrz

- Kreibig, S. D. (2012). Emotion, motivation, and cardiovascular response. *RA Wrightghe Gendolla. Motivation on cardiovascular response. Washington: American Psychological Association*, 93–117.
- Kreibig, Sylvia D. (2010). Autonomic nervous system activity in emotion: A review. *Biological Psychology*, 84(3), 394-421. doi:10/c3smcc
- Lang, P. J., Greenwald, M. K., Bradley, M. M., & Hamm, A. O. (1993). Looking at pictures: Affective, facial, visceral, and behavioral reactions. *Psychophysiology*, 30(3), 261–273. doi:10/fwqns
- Langer, S. K., & Langer, S. K. K. (1967). *Mind: An essay on human feeling* (Vol. 2). JHU Press.
- Lazarus, R. S., & Smith, C. A. (1991). *Emotion and adaptation*. Oxford University Press on Demand.
- LeDoux, J. (2009). Emotion systems and the brain. *Encyclopedia of neuroscience*, 903–908. doi:10/c9355s
- LeDoux, Joseph. (1998). *The emotional brain: The mysterious underpinnings of emotional life*. Simon and Schuster.
- Levenson, R. W. (1994). Human emotion: A functional view. *The nature of emotion: Fundamental questions*, 1, 123–126.
- Levenson, R. W., Ekman, P., & Friesen, W. V. (1990). Voluntary facial action generates emotion-specific autonomic nervous system activity. *Psychophysiology*, 27(4), 363-384. doi:10/fgsjnd
- Lezak, M. D., Howieson, D. B., Loring, D. W., & Fischer, J. S. (2004). *Neuropsychological assessment*. Oxford University Press, USA.

- Lopez-Calderon, J., & Luck, S. J. (2014). ERPLAB: an open-source toolbox for the analysis of event-related potentials. *Frontiers in human neuroscience*, 8, 213.
- MacLeod, C. M. (1991). Half a century of research on the Stroop effect: an integrative review. *Psychological bulletin*, 109(2), 163. doi:10/c6jxf2
- Mauss, I. B., Levenson, R. W., McCarter, L., Wilhelm, F. H., & Gross, J. J. (2005). The tie that binds? Coherence among emotion experience, behavior, and physiology. *Emotion*, 5(2), 175. doi:10/b662f8
- Mazuka, R., Jincho, N., & Oishi, H. (2009). Development of executive control and language processing. *Language and Linguistics Compass*, 3(1), 59–89. doi:10/btbgft
- Miller, E. K., & Wallis, J. D. (2009). Executive function and higher-order cognition: Definition and neural substrates. En *Encyclopedia of Neuroscience* (pp. 99-104). Elsevier. doi:10.1016/B978-008045046-9.00418-6
- Monchi, O., Petrides, M., Petre, V., Worsley, K., & Dagher, A. (2001). Wisconsin card sorting revisited: Distinct neural circuits participating in different stages of the task identified by event-related functional magnetic resonance imaging. *The Journal of Neuroscience*, 21(19), 7733-7741. doi:10/gfsdtw
- Mountain, M. A., & Snow, W. G. (1993). Wisconsin card sorting test as a measure of frontal pathology: A review. *Clinical Neuropsychologist*, 7(1), 108-118. doi:10/dzksbr
- Munakata, Y., Herd, S. A., Chatham, C. H., Depue, B. E., Banich, M. T., & O'Reilly, R. C. (2011). A unified framework for inhibitory control. *Trends in cognitive sciences*, 15(10), 453–459. doi:10/bmr8tc

- Nakao, Y., Kodabashi, A., Yarita, M., Fujimoto, T., & Tamura, T. (2012, January). Temporal activities during P3 components on the working memory-related brain regions: N-back ERP study. In *Proceedings of 2012 IEEE-EMBS International Conference on Biomedical and Health Informatics* (pp. 424-427). IEEE.
- Neisser, U. (1967). *Cognitive Psychology* New York: Appleton-Century-Crofts.
- Nyhus, E., & Barceló, F. (2009). The Wisconsin card sorting test and the cognitive assessment of prefrontal executive functions: A critical update. *Brain and Cognition*, 71(3), 437-451. doi:10/fw5dvz
- Owen, A. M., McMillan, K. M., Laird, A. R., & Bullmore, E. (2005). N-back working memory paradigm: A meta-analysis of normative functional neuroimaging studies. *Human brain mapping*, 25(1), 46–59. doi:10/cxh645
- Panksepp, J. (1998). *Affective neuroscience: The foundations of human and animal emotions*. New York, NY: Oxford university press.
- Panksepp, J. (2003). At the interface of the affective, behavioral, and cognitive neurosciences: Decoding the emotional feelings of the brain. *Brain and cognition*, 52(1), 4–14. doi:10/bdf75w
- Papageorgiou, C. C., Hountala, C. D., Maganioti, A. E., Kyprianou, M. A., Rabavilas, A. D., Papadimitriou, G. N., & Capsalis, C. N. (2011). Effects of wi-fi signals on the p300 component of event-related potentials during an auditory hayling task. *Journal of Integrative Neuroscience*, 10(02), 189-202.
- Parvizi, J., & Damasio, A. (2001). Consciousness and the brainstem. *Cognition*, 79(1-2), 135–160. doi:10/dhcggv

- Perone, S., Almy, B., & Zelazo, P. D. (2018). Chapter 11 - Toward an Understanding of the Neural Basis of Executive Function Development. En R. Gibb & B. Kolb (Eds.), *The Neurobiology of Brain and Behavioral Development* (pp. 291-314). Academic Press. doi:10.1016/B978-0-12-804036-2.00011-X
- Pessoa, L. (2009). How do emotion and motivation direct executive control? *Trends in Cognitive Sciences*, 13(4), 160-166. doi:10/bxz7cz
- Peterson, E., & Welsh, M. C. (2014). The development of hot and cool executive functions in childhood and adolescence: Are we getting warmer? En *Handbook of executive functioning* (pp. 45–65). Springer.
- Pion-Tonachini, L., Kreutz-Delgado, K., & Makeig, S. (2019). ICLabel: An automated electroencephalographic independent component classifier, dataset, and website. *NeuroImage*, 198, 181-197.
- Polich, J. (2007). Updating P300: an integrative theory of P3a and P3b. *Clinical neurophysiology*, 118(10), 2128-2148.
- Postle, B. R., Brush, L. N., & Nick, A. M. (2004). Prefrontal cortex and the mediation of proactive interference in working memory. *Cognitive, Affective, & Behavioral Neuroscience*, 4(4), 600-608.
- Reisenzein, R. (2000). Exploring the strength of association between the components of emotion syndromes: The case of surprise. *Cognition & Emotion*, 14(1), 1–38. doi:10/fk7m5s
- Robinson, M. D., Watkins, E. R., & Harmon-Jones, E. (2013a). Cognition and emotion: An introduction. En *Handbook of cognition and emotion* (pp. 3–16).

- Robinson, M. D., Watkins, E. R., & Harmon-Jones, E. (2013b). *Handbook of Cognition and Emotion*. Guilford Press.
- Roos, L. E., Knight, E. L., Beauchamp, K. G., Berkman, E. T., Faraday, K., Hyslop, K., & Fisher, P. A. (2017). Acute stress impairs inhibitory control based on individual differences in parasympathetic nervous system activity. *Biological Psychology*, 125, 58-63.
- Scherer, K. R. (1984). On the nature and function of emotion: A component process approach. *Approaches to emotion*, 2293, 317.
- Sharot, T., & Garrett, N. (2016). Forming beliefs: Why valence matters. *Trends in cognitive sciences*, 20(1), 25–33. doi:10/gfkwfg
- Shi, Y., Ruiz, N., Taib, R., Choi, E., & Chen, F. (2007, April). Galvanic skin response (GSR) as an index of cognitive load. In *CHI'07 extended abstracts on Human factors in computing systems* (pp. 2651-2656).
- Shields, G. S., Sazma, M. A., & Yonelinas, A. P. (2016). The effects of acute stress on core executive functions: A meta-analysis and comparison with cortisol. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 68, 651-668.
- Silva, J. R., Vivanco-Carlevari, A., Barrientos, M., Martínez, C., Salazar, L. A., & Krause, M. (2017). Biological stress reactivity as an index of the two polarities of the experience model. *Psychoneuroendocrinology*, 84, 83-86.
- Singer, J. A., & Salovey, P. (1999). Thought flow: Properties and mechanisms underlying shifts in content. En *At play in the fields of consciousness* (pp. 43–64). Psychology Press.
- Squire, L. R., Dronkers, N. F., & Baldo, J. V. (2009). *Encyclopedia of neuroscience*. Elsevier.

- Storbeck, J., & Clore, G. L. (2007). On the interdependence of cognition and emotion. *Cognition & Emotion*, 21(6), 1212-1237. doi:10/dtzk9k
- Stormark, K. M., Nordby, H., & Hugdahl, K. (1995). Attentional shifts to emotionally charged cues: Behavioural and ERP data. *Cognition & Emotion*, 9(5), 507–523. doi:10/c863mh
- Tononi, G., & Edelman, G. M. (1998). Consciousness and complexity. *Science*, 282(5395), 1846-1851. doi:10/cxqf2f
- Watter, S., Geffen, G. M., & Geffen, L. B. (2001). The n-back as a dual-task: P300 morphology under divided attention. *Psychophysiology*, 38(6), 998-1003.
- Yang, P., Fan, C., Wang, M., & Li, L. (2017). A comparative study of average, linked mastoid, and REST references for ERP components acquired during fMRI. *Frontiers in neuroscience*, 11, 247.
- Zajonc, R. B. (1980). Feeling and thinking: Preferences need no inferences. *American psychologist*, 35(2), 151. doi:10/d5h4dm
- Zelazo, P. D. (2015). Executive function: Reflection, iterative reprocessing, complexity, and the developing brain. *Developmental Review*, 38, 55–68. doi:10/f7426r
- Zelazo, P. D., Frye, D., & Rapus, T. (1996). An age-related dissociation between knowing rules and using them. *Cognitive development*, 11(1), 37–63. doi:10/c4m4r8
- Zelazo, P. D., Müller, U., Frye, D., Marcovitch, S., Argitis, G., Boseovski, J., ... Sutherland, A. (2003). The development of executive function in early childhood. *Monographs of the society for research in child development*, i–151. doi:10/dmg7t7