

**UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE MEDICINA
ESCUELA DE POSTGRADO**



**DIFERENCIACIÓN HEMISFÉRICA EN EL RECONOCIMIENTO DE
EXPRESIONES FACIALES: EL ROL DE LOS COMPONENTES
ESPECTRALES**

Andrea Verónica Helo Herrera

**TESIS PARA OPTAR AL GRADO DE MAGISTER EN CIENCIAS BIOLÓGICAS
MENCION NEUROCIENCIAS**

Director de Tesis: Prof. Dr. Pedro Maldonado

2010

A mi Cole querida...

***“Pa' cantar de un improviso
se requiere buen talento,
memoria y entendimiento,
fuerza de gallo castizo.
Cual vendaval de granizos
han de florear los vocablos...”***

Violeta Parra

Agradecimientos

En primer lugar, quisiera dar las gracias a mi tutor Pedro Maldonado quien fue un guía y un amigo, a mis compañeros de laboratorio, a aquellos con los que he compartido este último tiempo diaramente, y también, a quien desde lejos, siempre me apoyó. A todos, les agradezco su generosidad en el más amplio sentido, y sobre todo su alegría.

Quisiera reconocer a las personas del Instituto de investigación del Hospital Sirio Libanes por su apoyo técnico y humano para la realización de esta tesis y a todos aquellos que desinteresadamente colaboraron en este proyecto. Agradezco, además, a la Escuela de Fonoaudiología por su apoyo constante, y a cada una de las personas que ahí trabajan por su cariño.

Finalmente, doy gracias a mi familia, amigos y quien comparte su cariño conmigo, ellos hicieron de este camino uno más provechoso.

Resumen

El reconocimiento de emociones a través de la expresión facial, es un proceso cognitivo superior que comienza con la percepción del estímulo, este proceso se encuentra lateralizado hacia el hemisferio derecho. Además, estudios han mostrado que el hemisferio derecho procesa con más rapidez estas frecuencias espaciales y que el procesamiento de las expresiones faciales se ve facilitado cuando se presentan en baja frecuencia. En relación a esto, se plantea como hipótesis que la lateralización del procesamiento de emociones por el hemisferio derecho se deba a su lateralización en el procesamiento de bajas frecuencias.

En este trabajo se realizó un estudio de discriminación emociones a partir de imágenes de expresiones faciales, presentadas en diferentes rangos de frecuencia espacial (sin filtrar, filtro pasa bajo y pasa alto). Los estímulos se presentaron tanto a la izquierda como a la derecha del campo visual. Se midió el rendimiento en porcentaje de respuestas correctas (PRC) y el tiempo de reacción (TR), y se realizó un registro electroencefalográfico.

Se observó que ni la expresión facial, ni la ubicación del campo visual de las imágenes influyeron en el el rendimiento TR o de los sujetos. Las imágenes sin filtrar fueron discriminadas mejor en comparación con las imágenes en alta o baja frecuencia (Anova, $p < 0,01$). Además, los TR de las imágenes de alta frecuencia fueron mayores que los TR de imágenes sin filtrar (Anova, $p < 0,05$).

Los componentes P1 (canal occipital) y N170 (canal temporo-occipital) no fueron afectados por la frecuencia espacial de las imágenes, P2 (canal temporo-occipital) fue más alto en el hemisferio izquierdo para las imágenes de alta frecuencia (Anova, $p < 0,05$). Este componente también fue mayor en un canal frontal (Anova, $p < 0,01$).

Se concluye que ambos hemisferios contribuyen a la discriminación expresiones faciales a partir de los componentes de baja frecuencia, para transferir luego este procesamiento al hemisferio izquierdo a partir de alta frecuencia.

Abstrac

Higher cognitive processing such as emotion recognition through facial expressions begins with the perception of a stimulus. This processing is lateralized to the right hemisphere. Nor is known how much of the visual processing is related to physical properties of stimuli. Early studies have shown that facial expressions processing is facilitated when presented at low frequencies. We conjecture that this may be due to the fact that the right hemisphere processes more quickly, low spatial frequency features.

To corroborate this assumption we conducted an emotion discrimination study of images of facial expressions, presented with different spatial frequency components (unfiltered and low and high frequency band pass). These stimuli were presented either in the left or right visual field. We measured reaction times (RT), discrimination performance and conducted electroencephalographic recordings.

We found that neither facial expression nor the visual field location of images influenced the reaction time or performance of the subjects. Unfiltered images were discriminated better compared to high or low frequency filtered images (Anova, $P < 0.01$). We also found that RT times to high frequency images were larger than the RT for unfiltered images (Anova, $P < 0.05$). The performance of subjects to stimuli at different spatial frequencies was not influenced by the visual field location. Event related potentials (ERP) show that either P1 or N170 components (temporo-occipital channel) were affected by the spatial frequency of images, P2 was significantly higher in the left hemisphere for high frequency images (Anova, $P < 0.05$). This component was also larger in a frontal channel (Anova, $P < 0.01$).

We conclude that both hemispheres contribute to facial expression discrimination by early processing of low frequency components, to then transfer to the left hemisphere processing high frequency features.

Contenido

1	Introducción	7
2	Marco Teórico.....	10
2.1	Procesamiento de caras: Diferencias en el procesamiento de la identidad y de las expresiones faciales.....	10
2.2	Lateralización Hemisférica en la percepción de emociones y expresiones faciales.....	14
2.3	Lateralización Hemisférica en la percepción de expresiones faciales asociadas al componente espectral de la imagen.....	17
2.4	Participación subcortical en la percepción de expresiones faciales asociado a los componentes espectrales de la imagen.....	20
2.5	Potencial Relacionado a Evento y procesamiento de expresiones faciales.....	22
2.6	Coda.....	25
3	Hipótesis de trabajo	26
4	Objetivos.....	26
4.1	General.....	26
4.2	Específicos	26
5	Materiales y Métodos.....	27
5.1	Sujetos	27
5.2	Estímulos.....	27
5.3	Procedimiento.....	30
5.3.1	Pilotaje.....	30
5.3.2	Experimento	32
5.3.3	Control.....	33
5.3.4	Registro Electroencefalográfico	34
5.4	Análisis de los resultados	35
5.4.1	Análisis de Resultados Conductuales.....	35
5.4.2	Análisis de Resultados EEG	36
6	Resultados.....	39
6.1	Resultados Conductuales	39
6.1.1	Tarea Discriminación de Expresiones.....	39
6.1.2	Tarea de Discriminación de Genero	48
6.2	Resultados EEG	50
6.2.1	Región Occipital	50
6.2.2	Electrodos Tepmporoccipitales	54
6.2.3	Región Frontocentral	56
7	Discusión	58
8	Conclusiones	67
9	Referencias.....	69

1 Introducción

Las caras humanas tienen un rol importante en las relaciones interpersonales y la interacción social, porque permiten establecer la identidad de las personas y, sobre todo, porque a través de las expresiones faciales se puede inferir sus estados afectivos, personalidad o actividad cognitiva. Además, proporcionan claves no verbales que acompañan el lenguaje oral y permiten colegir las intenciones del interlocutor, proceso clave en la comunicación humana. De entre las expresiones faciales posibles, se propone que existen seis expresiones que corresponden a emociones básicas y universales, estas son la alegría, tristeza, miedo, sorpresa, disgusto y enojo. (Ekman, 1999)

Los seres humanos adultos somos expertos en el reconocimiento de caras y de la información que estas entregan. Las características estables, como la forma de los ojos, la boca o la distancia entre estos, permiten identificar una cara en particular, por lo tanto, identificar a una persona; las modificables, por su parte, varían en el tiempo (debido al movimiento de la musculatura facial) y nos entregan claves relevantes desde el punto de vista comunicativo; por ejemplo, el movimiento de los ojos informa sobre la dirección de la mirada y permite reconocer la intención comunicativa del hablante (Sumbly & Pollack, 1954) y las expresiones faciales, en general, permiten inferir estados emocionales (Haxby, Hoffman, & Gobbini, 2002; Hoffman & Haxby, 2000). En relación a lo anterior, se propone que las vías de reconocimiento de las emociones y de la identidad son diferentes. Esta propuesta se basa, principalmente, en estudios de pacientes con prosopagnosia, quienes presentan dificultades para reconocer la identidad de una cara, pero frecuentemente conservan la capacidad de reconocer las expresiones faciales y la dirección de la mirada (Calder, Keane, Lawrence, & Manes, 2004; Haxby, Hoffman, & Gobbini, 2002; Hoffman & Haxby, 2000), así como, en estudios imagenológicos que muestran diferentes áreas de activación dependiendo del tipo de tarea (reconocimiento de identidad o expresiones faciales).

Los procesos cognitivos superiores están estrechamente ligados a la percepción del objeto, desde estadios muy tempranos. En el caso de las caras, para

poder reconocer la identidad de una persona o su emoción -a partir de una expresión facial- primero se debe procesar el estímulo visual, por lo tanto, el análisis comienza con la extracción paralela de atributos visuales en general, y esta extracción depende fuertemente de los componentes espectrales (frecuencias espaciales) de la imagen. Al respecto, hay estudios que han establecido una relación entre frecuencias espaciales de la imagen de una cara y la tarea de reconocimiento (Hoffman & Haxby, 2000; Schyns & Oliva, 1999; Vuilleumier, Armony, Driver, & Dolan, 2003). En estos estudios se ha observado que las áreas que participan en el reconocimiento de la identidad son activadas principalmente por frecuencias espaciales altas, y que las que participan en el reconocimiento de las expresiones faciales, son activadas por las frecuencias bajas. En este sentido, es posible pensar que existe una diferenciación en la extracción de la información asociada a la tarea de reconocimiento que se va a realizar.

Los hemisferios cerebrales participan de manera complementaria en las funciones cognitivas superiores, presentando cierta especificidad en su funcionamiento. Un ejemplo de esto es el lenguaje, función en la que el hemisferio izquierdo se considera dominante; otro ejemplo importante, es el reconocimiento de emociones, que está más relacionado al hemisferio derecho. Una prueba de esta relación es la dificultad en el reconocimiento de expresiones faciales asociada a lesiones en la corteza orbitofrontal, principalmente derecha, además de una mayor activación de esta zona frente a caras con expresión (Adolphs, 2002).

Junto con lo anterior, existe evidencia de que los hemisferios cerebrales presentan diferencias en el procesamiento de distintas frecuencias espaciales para escenas naturales. En específico, se observa que el hemisferio derecho presenta una tendencia a procesar más rápido los estímulos visuales presentados a baja frecuencia y el hemisferio izquierdo, los presentados a alta frecuencia (Peyrin, Baciú, Segebarth, & Marendaz, 2004; Peyrin, Chauvin, Chokron, & Marendaz, 2003).

Estos vínculos existentes entre hemisferio derecho y emociones, hemisferio derecho y frecuencia espacial baja y entre frecuencia espacial baja y discriminación de expresiones faciales, sugieren que la dominancia del hemisferio derecho en el reconocimiento de emociones podría relacionarse a su tendencia a procesar más

rápido las frecuencias bajas, relacionadas con las expresiones faciales, tal como ya se indicó. Sin embargo, aún no está completamente claro si en el caso del procesamiento de caras hay una diferenciación hemisférica que dependa de la frecuencia espacial.

Las caras permiten realizar dos tareas diferentes simultáneas – reconocimiento de identidad y expresión-; por lo tanto, son una buena herramienta para determinar qué factores perceptivos están involucrados diferencialmente en cada una de las tareas. Por ejemplo, en el análisis visual de las caras se observa, por un lado, un efecto “bottom up” en el que la frecuencia en la que está presentada la imagen puede facilitar una tarea en particular (como la identidad o la expresión), y, por otro, un efecto “top down”, ya que en una imagen que contiene información en ambas frecuencias, la información utilizada depende de la tarea. Es por esto que comprender a cabalidad el procesamiento de caras y su relación con los componentes espectrales de la imagen permitiría entender de mejor manera cómo el proceso de percepción está ligado a procesos cognitivos superiores.

De acuerdo a lo anterior en esta tesis se realizó estudios psicofísicos y electroencefalográficos, para examinar la participación diferencial de ambos hemisferios en la discriminación de caras con expresiones emocionales. En particular, se exploró si los componentes espectrales contribuyen significativamente a esta discriminación y si esta función presenta lateralización importante. Así, este estudio contribuye a entender los factores que influyen en dicha percepción, lo que permite conocer más sobre los procesos posteriores implicados en el funcionamiento social y emocional humano.

2 Marco Teórico

2.1 Procesamiento de caras: Diferencias en el procesamiento de la identidad y de las expresiones faciales.

La especialización cerebral para la percepción de caras es tan importante que existen regiones bilaterales de la corteza visual extra-estriada que responden diferencialmente a estímulos de caras por sobre otros objetos, estas regiones han sido señaladas como el “centro de la percepción de caras”. Las regiones propuestas son el giro occipital inferior (GOI), giro fusiforme lateral (GFL) y el sulcus temporal superior (STS) (Fairhall & Ishai, 2007; Haxby et al., 1999; Haxby, Hoffman, & Gobbini, 2000; Kriegeskorte, Formisano, Sorger, & Goebel, 2007).

Cuando se observa una cara se realizan diferentes procesos cognitivos, se puede reconocer la identidad de una persona observada, el género, la expresión facial, la dirección de la mirada, etc. Estos procesos han mostrado ser independientes (Haxby, Hoffman, & Gobbini, 2000), postulándose que el análisis visual de la identidad y de las expresiones faciales es llevado a cabo por rutas visuales paralelas. Esto ha sido sustentado en diferentes estudios, por ejemplo, estudios conductuales han mostrado que la familiaridad de una cara no afecta el reconocimiento de la expresión, estudios de pacientes con prosopagnosia, han mostrado que estas personas que presentan dificultades en el reconocimiento de la identidad, conservan la capacidad para reconocer la expresión facial y estudios en primates no humanos en quienes se han identificado poblaciones neuronales que responden diferenciadamente a expresiones o a la identificación de una cara (Calder & Young, 2005).

Estas dos rutas de análisis visual se inician en la percepción de un mismo objeto (la imagen de una cara), por lo tanto, deben bifurcarse en algún nivel, sin embargo, no está claro qué tan temprano ocurre esta bifurcación. Haxby, Hoffman, & Gobbini (2000), proponen que al ver una cara esta información es procesada por el GOI, área que sería común para el procesamiento de la identidad y la expresión facial, luego las rutas se separan dependiendo de la tarea, para la identificación de la identidad, la información va hacia GFL, área fuertemente asociada a la percepción de

aspectos no modificables de la cara, posteriormente, se observa activación de la corteza temporal inferior (CTIa), área asociada al almacenamiento de la información semántica de la persona y su identidad. En el caso de la expresión facial la información viaja hacia el STS, activando además, áreas del sistema límbico, corteza somatosensorial derecha y corteza prefrontal inferior, implicadas en asignar el contenido emocional. Sin embargo, esta no es la única visión existente sobre el procesamiento de caras, Calder & Young (2005), proponen que si bien existen dos rutas diferentes de procesamiento, estas dos rutas no son completamente independientes, ellos se basan en diferentes estudios que muestran que ambos aspectos del procesamiento de la cara si se influyen. Un ejemplo de esta influencia entre ambos procesamientos, son los resultados del estudio realizado por Winston, Henson, & Dolan, 2004, en este estudio se utilizó resonancia magnética funcional (RMf) en dos tareas, donde se observó que el GF y el STS respondían diferencialmente frente a caras con expresión neutra (GF) y con expresión facial (STS anterior), pero que el GF, asociado a la identidad, también respondía frente a caras con expresión facial. Otro estudio que ha asociado al GF a la percepción de expresiones faciales, principalmente a la percepción de miedo es el de Vuilleumier, Armony, Driver, & Dolan (2001).

Un estudio con RMf, que muestra influencia directa de las expresiones faciales en una tarea de reconocimiento de identidad, es el realizado por Surguladze, Brammer, Young, Andrew, Travis, & Williams (2003) en este estudio se vio aumento en la actividad de la corteza fusiforme -asociada principalmente al reconocimiento de la identidad- en imágenes que además presentaban expresiones faciales, esta activación aumentaba con la intensidad de la expresión, observándose un aumento mayor para las expresiones de miedo y disgusto. Un estudio similar (Winston, O'Doherty et al. 2003), encontró activación del GF frente a las mismas expresiones, aunque no mostró asociación con la intensidad. Además, a nivel conductual se observó que las caras con expresión de miedo en baja frecuencia interferían en la tarea de reconocimiento de género, observándose mayores tiempos de reacción, lo que no ocurría al revés (las imágenes en frecuencias altas no influían en el desempeño de los sujetos). Estos datos están en sintonía con la idea de que si bien

existen dos rutas diferenciadas, estas no son completamente independientes, esto dado, por un lado, por la influencia que producen ambas tareas entre sí y por otro, porque ambas tareas se compartiría aéreas cerebrales.

Además de las áreas descritas anteriormente, se han descrito áreas no visuales asociadas al reconocimiento de ciertas emociones, representadas por expresiones faciales, por ejemplo, la amígdala (miedo) (Adolphs, Tranel, Hanna, & Antonio R, 1995), la ínsula (disgusto) (Calder, Keane, Manes, Antoun, & Young, 2000) y el striatum ventral (enojo) (Fairhall & Ishai, 2007; Haxby, Hoffman, & Gobbini, 2002; Surguladze et al., 2003), estas áreas estarían relacionadas al procesamiento de la emoción contenida en la imagen.

Se conoce que la diferenciación de la rutas paralelas de análisis visual de una cara están relacionada a los aspectos no modificables de esta (identidad) y a los aspectos que son modificables (expresiones faciales) pero no está claro si los componentes espectrales determinan de alguna manera la bifurcación de estas dos rutas. Al respecto hay autores que proponen que la información contenida en las bajas frecuencias de la imagen se relaciona con el procesamiento de las expresiones faciales y las altas frecuencias con el procesamiento de la identidad (Schyns & Oliva, 1999; Vuilleumier, Armony, Driver, & Dolan, 2003), si es así, esto estaría indicando que la bifurcación de las rutas podría realizarse en estadios muy tempranos ya que la información de estas dos frecuencias viene ya diferenciada desde la vía visual. Sin embargo, la información al respecto aún no es concluyente.

Un estudio que apoya la relación entre tarea y frecuencia espacial es el realizado por Vuilleumier, Armony, Driver, & Dolan (2003), ya que los resultados mostraron efecto de adaptación en la tarea de discriminación de género solo para las imágenes presentadas a altas frecuencias, lo que sugiere relación de las frecuencias espaciales altas con esta tarea. Además, observaron mayor activación cerebral del GF y activación de la amígdala cuando se presentaban caras con expresión facial en bajas frecuencias asociando entonces estas frecuencias al procesamiento de expresiones. Otro estudio en la misma línea es el de Schyns y Oliva (1999), en el que se presentó a un grupo de sujetos normales caras con diferentes expresiones faciales (neutra, enojo y alegría), en imágenes híbridas, compuestas por dos

expresiones faciales diferentes (una en frecuencia alta y la otra en frecuencia baja). Se observó una marcada tendencia de los sujetos para detectar aquellas expresiones que eran presentadas en frecuencias altas pero, una tendencia a utilizar las frecuencias bajas para categorizar las expresiones. Esto demuestra la importancia de las frecuencias espaciales en el procesamiento de diferente información extraída de una misma imagen y que la información utilizada depende de la tarea a realizar. En este estudio, solo se observó influencia de las frecuencias bajas en las tareas de categorización de expresiones y no en la tarea de detección. Una razón de esto podría ser que no se utilizaron caras con expresión de miedo en las que si se ha demostrado que los componentes de baja frecuencia son importantes para la detección.

Estudios utilizando electroencefalograma (EEG) también han entregado evidencia que apoya la idea de que las frecuencias espaciales se relacionan con el procesamiento de caras, pero los resultados tampoco han sido concluyentes en determinar, si efectivamente, las frecuencias espaciales se relacionan diferencialmente con los procesos de identificación de identidad y expresiones faciales.

Goffaux, Gauthier, & Rossion (2003), mostraron mayor amplitud de un componente temprano del ERP (N170), para imágenes sin filtrar y en baja frecuencia que para imágenes en alta frecuencia, sugiriendo que el contenido que permitía discriminar entre una cara y un objeto en estadios tempranos, se encontraba en las frecuencias bajas. Sin embargo, hay otro estudio que muestra resultados diferentes, aquí se presentaron imágenes de caras de miedo y neutras e imágenes de casas a distintas frecuencias espaciales (sin filtrar, baja frecuencia y alta frecuencia) se observó que la amplitud de componentes tempranos del ERP eran diferentes entre caras y casas en todas las frecuencias (Holmes, Winston, & Eimer, 2005), dándole una participación a todas las frecuencias por igual en la discriminación de caras. Además, se observaron diferencias en la amplitud de la señal entre caras de miedo y neutras en las imágenes no filtradas, sin observar diferencias en las imágenes de alta o baja frecuencia.

Un estudio que asocia a las bajas frecuencias con expresiones faciales es el de Vlamings, Valerie, & Kemner (2009), ellos observaron menores tiempos de reacción al discriminar caras de miedo y neutras cuando las caras eran presentadas en baja frecuencia, comparadas con caras presentadas a alta frecuencia. Además, observaron diferencias en la amplitud de la señal en componentes tempranos del ERP, para las caras de miedo, solo cuando estas eran presentadas a baja frecuencia, sugiriendo un aporte mayor de las frecuencias bajas en el análisis visual temprano de las caras con expresión facial.

Según los antecedentes entregados la función de las áreas relacionadas al procesamiento de caras, se relaciona con las características de la imagen (frecuencia espacial), y a su vez las características utilizadas están relacionadas a la tarea, por ejemplo uso de altas frecuencias para identificación de identidad y bajas para identificación de expresiones faciales, sin embargo, esta diferenciación no está del todo clara, probablemente por diferencias metodológicas entre los diferentes estudios relacionadas con el diseño de la tarea y la confección de los estímulos (punto de corte utilizado para filtrar las imágenes, utilizar otras expresiones faciales además de miedo). Sería de gran ayuda conocer el real efecto de la tarea en la "elección" de las características físicas de la imagen utilizadas en el procesamiento de la cara, para poder así, determinar cómo se lleva a cabo el proceso cognitivo de reconocimiento de una cara desde estadios tempranos y como estos son regulados. Una manera de obtener información al respecto, es estudiar si efectivamente existe relación entre el reconocimiento de una expresión facial y la frecuencia espacial en que es presentada la imagen.

2.2 Lateralización Hemisférica en la percepción de emociones y expresiones faciales.

El hemisferio derecho ha mostrado una especialización en el reconocimiento de las emociones, no sólo a través de expresiones faciales si no también a través de la prosodia. Se sabe que el reconocimiento de las emociones a partir de las expresiones faciales es un proceso complejo que consta de varias etapas, después de percibir la imagen de una cara, se deben identificar las características visuales

que permiten distinguir si el estímulo observado es una expresión y diferenciarla de otras, para finalmente, asignarle el significado a la expresión (Adolphs 2002). Este proceso ha sido asociado al hemisferio derecho a partir de múltiple evidencia, por ejemplo, lesiones en la corteza orbitofrontal, principalmente derecha, se asocian con dificultades en el reconocimiento de expresiones faciales, al mismo tiempo que se ha observado una mayor activación de la corteza orbitofrontal derecha frente a las caras con expresión de miedo, en contraste con caras neutras (Adolphs, 2002). Además, diversos estudios con EEG y RMf han mostrado una lateralización hacia el hemisferio derecho en respuesta a caras con expresión facial, especialmente de miedo. Esta especialización parece comenzar a nivel de la corteza visual, existiendo una especificidad desde etapas tempranas de la percepción del estímulo (Fairhall & Ishai, 2007; Winston, Henson, Fine-Goulden, & Dolan, 2008)

Fairhall & Ishai (2007), basados en un estudio con RMf, propusieron un modelo de funcionamiento cerebral en el procesamiento de caras en el que participan áreas visuales, límbicas y prefrontales con activación de la corteza visual extraestriada frente a estímulos de caras (GOI, el GF y el STS), observándose que esta actividad era mayor en el hemisferio derecho. Otro estudio, que muestra resultados en esta línea es el realizado por Winston, Henson, Fine-Goulden, & Dolan (2008) en el que se observó efecto de adaptación en el STS posterior y sobre todo el STS anterior derechos al presentar caras con expresión facial repetidamente.

A estos estudios se suma el realizado por Winston, O' Doherty, & Dolan (2003), en el que se observó que para caras con expresión facial había mayor activación del GF bilateral y del STS posterior derecho. Además, se observó diferencias en la activación dependiente de la tarea que debían realizar los sujetos, existiendo mayor actividad de la corteza somatosensorial derecha y en el STS derecho cuando los sujetos realizaban la tarea de discriminación de expresiones faciales comparada con una tarea de discriminación de género. Otro estudio relacionado con la diferenciación hemisférica en el procesamiento de expresiones faciales, es el realizado por Vuilleumier, Armony, Driver, & Dolan (2001), en este estudio se midió la activación cerebral usando RMf, frente a caras de miedo, comparando la activación cuando estas caras eran atendidas y cuando la atención

estaba centrada en otro estímulo. En términos generales, se observó un aumento de la activación en el hemisferio izquierdo cuando las caras de miedo eran atendidas e igual activación del hemisferio derecho, tanto para caras atendidas como no atendidas. Basado en estos resultados, los autores concluyen que el hemisferio derecho responde de manera diferente que el izquierdo a las imágenes de caras, aportando quizás en la detección del estímulo por lo que es independiente de si se esta o no prestando atención directa, él que después debe ser procesado detalladamente, para lo que se necesita atender al estímulo, con un aporte mayor del hemisferio izquierdo. Si esto es efectivo, la activación de ambos hemisferios debe ocurrir con diferentes cursos temporales, sin embargo, la RMf no presenta una resolución temporal que permita determinarlo, por lo que no es posible obtener esa información de este estudio.

Un estudio que permite responder esa pregunta es el realizado por Pizzagalli, Regard, & Lehmann (1999) en el que se utilizó EEG, una técnica que tiene buena resolución temporal, en este trabajo se midió el procesamiento temporal de expresiones faciales utilizando Potenciales Relacionados a Eventos (ERP), en una tarea que consistió en presentar caras con expresiones faciales (positivas y negativas), de manera diferencial a cada hemisferio cerebral (distintos campos visuales). Los resultados mostraron que cuando se presentaban imágenes de expresiones faciales al hemisferio derecho (HD) había una rápida respuesta cerebral a los 80 ms, asociada a la detección del estímulo, esta respuesta era más tardía (104 ms) cuando los estímulos eran presentados al hemisferio izquierdo (HI), evidenciando una activación más temprana en el hemisferio derecho al percibir estas expresiones faciales.

Dado que se conoce que la conducción de las bajas frecuencias por la vía magnocelular es más rápida, se podría proponer que esta diferencia en la activación cerebral está asociada a las características espectrales de la imagen presentada, sugiriendo una activación inicial del hemisferio derecho seguida de una activación del hemisferio izquierdo el que estaría asociado a altas frecuencias y a información más detallada de la imagen (Peyrin, Chauvin, Chokron, & Marendaz, 2003; Vuilleumier, Armony, Driver, & Dolan, 2003).

Entonces, tomando en cuenta que las frecuencias bajas están asociadas a un procesamiento más rápido de la imagen, surge la pregunta ¿tendrá esta diferenciación hemisférica en el curso temporal del procesamiento de emociones relación con el componente espectral de la imagen? Una manera de obtener información al respecto, es estudiar si efectivamente existe relación entre el reconocimiento de una expresión facial y la frecuencia espacial en que es presentada la imagen y si esta relación se asocia el hemisferio de presentación.

2.3 Lateralización Hemisférica en la percepción de expresiones faciales asociadas al componente espectral de la imagen.

Las frecuencias espaciales son procesadas diferencialmente a nivel cerebral. Se sabe que distintas vías del sistema visual son sensibles a distintos rangos de frecuencia espacial. Además, se conoce que la información proveniente de las frecuencias bajas es llevada con una alta velocidad de conducción a través de la vía magnocelular, que esta vía lleva información visual global y tiene baja resolución. Las frecuencias altas, por otro lado, son conducidas por la vía parvocelular, su velocidad de conducción es más lenta y entrega información de alta resolución que permite distinguir detalles de imágenes visuales. Ambas vías llegan a V1, pero a capas distintas (Sincich & Horton, 2005). Luego, las frecuencias altas son proyectadas principalmente hacia áreas ventrales extra estriadas, mientras que las frecuencias bajas son proyectadas hacia la vía visual dorsal. La información de baja frecuencia proyectada a través de la vía magnocelular, permite una percepción inicial de los estímulos y es eficiente para detectar aquellos que se encuentran en la periferia o a distancia y ha sido asociadas a la detección rápida de señales que indican potencial peligro. Este primer análisis de la información visual debe ser revisado y confirmado (Bar et al., 2006), este proceso es posterior y posiblemente se realiza a partir de la extracción de la información contenida en las frecuencias espaciales altas debido a su mejor resolución (Johnson, 2005).

Existe evidencia de que ambos hemisferios presentan diferencias en el procesamiento de frecuencias espaciales para escenas naturales, un estudio que ejemplifica bien estas diferencias es el realizado por Peyrin, Chauvin, Chokron, &

Marendaz (2003), en este trabajo se presentaron dos escenas naturales, diferencialmente al campo visual izquierdo y derecho, en tres condiciones: sin filtrar, en baja frecuencia y alta frecuencia, los resultados mostraron tiempos de reacción más cortos para el reconocimiento de las imágenes de alta frecuencia que eran presentadas al hemisferio izquierdo y a su vez, menores tiempos de reacción para las imágenes de baja frecuencia que eran presentadas al hemisferio derecho. En un estudio posterior, se presentaron las mismas escenas naturales, en las mismas tres condiciones (sin filtrar, y en bajas y altas frecuencias), se utilizó la misma tarea y se midió activación cerebral utilizando RMf. En este estudio, se observó diferenciación hemisférica en el procesamiento de frecuencias espaciales en áreas occipito-temporales. Específicamente, la unión occipito-temporal derecha, fue significativamente más activada por las escenas presentadas a bajas frecuencias y el giro occipital medial izquierdo fue significativamente más activado por las escenas presentadas a altas frecuencias, esta dominancia no se observó para las escenas no filtradas (Peyrin, Baciú, Segebarth, & Marendaz, 2004).

Por otro lado, hay evidencia de que las caras con distintas frecuencias espaciales son procesadas diferencialmente a nivel cortical, observándose áreas cerebrales distintas asociadas a diferentes frecuencias. En el estudio de Vuilleumier, Armony, Driver, & Dolan (2003), se utilizó RMf para medir diferencias en la activación cerebral frente a estímulos de caras neutras y con expresión facial de miedo en tres condiciones: imágenes filtradas a baja frecuencia, alta frecuencia y sin filtrar, en una tarea de discriminación de género en la que la expresión facial no era relevante. Se vio que en general, las frecuencias altas producían mayor activación de áreas de la corteza visual ventral, observándose mayor activación bilateral del GF y la CTI y las frecuencias bajas producían mayor activación de la corteza visual dorsal, como la corteza parieto-occipital bilateral y la corteza retrosplenial. Esto está en concordancia con la existencia de dos vías de procesamiento visual, ventral y dorsal, las que se asocian a diferentes funciones. La vía ventral está relacionada al procesamiento de información detallada, conocida como vía del “qué”, ya que permite determinar qué es lo que estamos viendo a partir de esta información. La vía

dorsal está asociada a información menos detallada pero más rápida, por lo tanto, permite localizar los estímulos, esta vía es conocida como vía del “dónde”.

Además, en este estudio se observó que cuando se presentaban caras con expresión de miedo había mayor activación del GF frente a bajas frecuencias, a pesar que en general esta área era activada mayormente por las frecuencias altas, por lo que se asoció la activación de esta área al componente de baja frecuencia de las caras de miedo. Aunque no se encontró una clara lateralización en la activación dependiente de la frecuencia espacial en que se presentaba la imagen.

Un estudio en que sí encontró relación entre hemisferio de presentación, caras y frecuencia espacial es el realizado por Nakashima et al. (2008), en este trabajo, se encontró un aumento de la amplitud de la señal a los 100 ms de baja frecuencia y un aumento de la señal a los 170 ms en el lado derecho cuando la imagen de la cara era presentada a alta frecuencia. Estos datos están en contraposición con los antecedentes en escenas naturales que muestran que el hemisferio derecho se relaciona al procesamiento de bajas frecuencias, pero están en concordancia con la idea que las altas frecuencias están relacionadas a la discriminación de la identidad, ya que estas imágenes no estaban asociadas a ninguna expresión facial, por lo que el análisis visual recaía en los aspectos no modificables de la cara.

Un estudio que asocia las frecuencias espaciales bajas a la activación del hemisferio derecho y que incluye imágenes de expresiones faciales, es el realizado por Winston, Vuilleumier, & Dolan (2003), en este estudio con RMf, se presentaron imágenes híbridas compuestas por caras humanas de distinto género y distinta expresión facial, cada una en distinta frecuencia espacial (alta o baja frecuencia.). Se observó mayor activación del GF derecho frente a frecuencias altas al medir la activación para todas las caras, pero al presentar específicamente caras con expresión de miedo, se observó una mayor activación del GF derecho para las frecuencias bajas, independientemente de la frecuencia utilizada por el sujeto para decidir el género, es decir, aun sin que fueran conscientes de percibir la imagen a baja frecuencia. También, se vio gran activación de la corteza orbitofrontal derecha para las expresiones de miedo, asociada a que los sujetos reportaran el género de la

persona utilizando la información de frecuencias bajas. Esto está en relación con el hecho de que la corteza orbitofrontal se asocia con la presencia de estímulos que son reportados conscientemente. Otro estudio que relaciona la respuesta cerebral a las frecuencias espaciales y al hemisferio cerebral en caras con y sin expresión facial es el realizado por Vlamings, Valerie, & Kemner (2009).

Los datos entregados anteriormente, sugieren que las frecuencias espaciales se procesan diferencialmente en cada hemisferio cerebral, para escenas naturales. Sin embargo, los antecedentes no son concluyentes en relación a la lateralización del procesamiento temprano de frecuencias espaciales en el procesamiento de caras. Es por esto que resulta interesante conocer si existe una real diferenciación hemisférica en el procesamiento de frecuencias espaciales asociadas a la percepción de expresiones faciales, ya que no existen antecedentes claros que confirmen o rechacen esta posibilidad.

2.4 Participación subcortical en la percepción de expresiones faciales asociado a los componentes espectrales de la imagen.

Si bien en esta tesis se buscó examinar las características de la lateralización hemisférica en la discriminación de caras con expresiones faciales, es importante mencionar la contribución de núcleos subcorticales en este procesamiento. Se debe tener en cuenta que la respuesta cortical a las expresiones faciales, principalmente aquellas asociadas a estímulos potencialmente peligrosos, está fuertemente ligada a la participación de la amígdala y que esta participación, esta probablemente ligada, a las frecuencias espaciales bajas. Existen estudios que han asociado la respuesta de la amígdala a caras de miedo presentadas a bajas frecuencias, asociando el procesamiento de estas frecuencias, a la rápida detección de esta expresión.

Se ha observado que en algunos casos puede ocurrir detección de expresiones de miedo, sin que exista conciencia de haber visto el estímulo, lo que sugiere que este procesamiento temprano puede estar disociado de una respuesta cortical. Esto ha sido observado en pacientes con lesión cortical que presentan heminegligencia (perdida de atención a un campo visual) o ceguera cortical (pérdida de visión por daño de la corteza estriada), quienes son capaces de discriminar

expresiones faciales, a pesar de no ser conscientes de haber visto el estímulo (De Gelder, Vroomen, Pourtois, & Weiskrantz, 1999; Hamm, Weike, Schupp, Treig, & Dressel, 2003; Johnson, 2005). Esto supone un procesamiento en el que no participan áreas visuales a nivel cortical. A todo esto se suma la evidencia de que pacientes con lesión bilateral de la amígdala presentan dificultades en el reconocimiento de expresiones faciales, especialmente de miedo, reafirmando la participación de esta estructura en la percepción de expresiones como el miedo (Adolphs, Baron-Cohen, & Tranel, 2002).

Con respecto a la activación cerebral, Vuilleumier, Armony, Driver, & Dolan (2001), presentó evidencia de la participación de la amígdala en el procesamiento de caras de miedo. En este estudio se observó activación de la amígdala y el GF derecho frente a expresiones de miedo independiente de si los sujetos estaban prestando atención a la imagen. A esto se suma la evidencia de la activación de la amígdala frente a caras de miedo asociadas al componente espectral de baja frecuencia, Vuilleumier, Armony, Driver, & Dolan (2003), presentó a un grupo de sujetos caras de miedo y neutras, sin filtro y filtradas a alta y baja frecuencias y midió áreas de activación cerebral utilizando RMf. En este estudio se observó que no había activación de la amígdala frente a caras con expresión de miedo a altas frecuencias, observando una fuerte activación de esta frente a expresiones sin filtrar o de bajas frecuencias, además se observó activación bilateral del tálamo infero-posterior (núcleo pulvinar) y del colículo superior derecho, para estas expresiones, proponiendo la existencia de una vía subcortical que permite detectar expresiones (principalmente de estímulos como el miedo), a través de los componentes de baja frecuencia, vía colículo superior y el pulvinar (Adolphs, Gosselin, Buchanan, & Tranel, 2005; De Gelder, Vroomen, Pourtois, & Weiskrantz, 1999).

2.5 Potencial Relacionado a Evento y procesamiento de expresiones faciales

Las investigaciones sobre emoción y en específico de las expresiones faciales, han determinado una serie de estructuras asociadas a su procesamiento, sugiriendo que estas áreas forman parte de una red neuronal compleja y específica para el reconocimiento de emociones. Sin embargo, aun falta evidencia sobre la interacción temporal de estas áreas, siendo esta evidencia necesaria para comprender el funcionamiento de esta red. Una manera de estudiar el procesamiento cerebral es a través de los ERP, obtenidos de la señal electroencefalográfica. Ya que el EEG tiene la ventaja de tener una alta resolución temporal lo que permite inferir lo que ocurre en el cerebro en el tiempo.

Uno de los pilares del estudio de procesamiento de emociones y ERP es determinar cuáles componentes se asocian al procesamiento de expresiones. En general, los estudios de ERP han determinado algunos componentes que claramente son característicos del procesamiento de caras. Sin embargo, aún no se ha podido determinar si existen componentes específicos que se relacionen con el procesamiento de expresiones faciales. Los componentes que más claramente se han asociado al procesamiento de caras son el componente P1 y el N170.

El P1 es un componente positivo muy temprano que aparece alrededor de los 100 ms en electrodos occipitales laterales, asociado a una respuesta visual tanto estriada como extraestriada (Gómez Gonzales, Clark, Fan, Luck, & Hillyard, 1994), se sabe que este componente es sensible a características de la imagen como luminancia y contraste, sin embargo, estudios que han controlado estas variables han demostrado que P1 responde mayormente a caras que a otros objetos (Itier & Taylor, 2002; Nakashima et al., 2008).

El N170 es un componente negativo temprano que aparece alrededor de los 170 ms en la región temporoccipital, asociado a la activación de la COI, GF y STS (Henson, Ganel, & Otten, 2003). Este componente presenta amplitudes mayores para caras que para otros objetos (Jacques & Rossion, 2004) por lo que ha sido fuertemente ligado al reconocimiento de caras por sobre otros objetos,

principalmente a la discriminación de los aspectos no modificables de esta (Eimer & Holmes, 2002; Jacques & Rossion, 2006).

Las investigaciones de procesamiento emocional con ERP han mostrado alguna evidencia de que estos mismos componentes pueden asociarse al procesamiento de expresiones faciales, pero los datos aun no son concluyentes. Un estudio que muestra evidencia de que estos componentes son modificados por la presencia de expresiones faciales es el realizado por Batty & Taylor (2003), en este trabajo se mostró que caras de miedo tristeza y disgusto producía un aumento en la amplitud de la señal del N170 y no en P1 al compararlas con las imágenes de sorpresa y alegría. Otro estudio que muestra diferencias en el N170 es el realizado por Blau, Maurer, Tottenham, & Mccandliss (2007), en el que al igual que en el estudio anterior se observó mayor amplitud en el N170 para las expresiones de miedo.

Por otro lado, Eimer & Holmes (2002) no encontraron diferencias en el componente N170 entre caras de miedo y caras neutras en electrodos temporales, sino que encontraron un aumento positivo en la región frontocentral, mayor para caras de miedo que para las caras neutras, aproximadamente a los 120 ms después de presentado el estímulo. Un estudio posterior (Eimer, Holmes, & McGlone, 2003) presentó a los sujetos caras con diferentes expresiones faciales (enojo, disgusto, miedo, alegría, tristeza y sorpresa). En este estudio se observó mayor amplitud de la señal para las caras con expresiones facial en los electrodos frontocentrales, solo cuando las caras eran atendidas, esta diferencia fue igual para las seis expresiones, sin embargo, a diferencia del estudio anterior, el aumento de la señal se produjo 180 ms post-estímulo, esto puede ser atribuido a la posición de las caras en la pantalla (más lateralmente que en el estudio anterior).

Los datos de este estudio sugieren que este componente frontal es sensible a la orientación espacial, esto se ha visto repetido en otros estudios (Holmes, Kiss, & Eimer, 2006). Además, se observó un efecto de la atención, ya que no se produjo diferencias en la señal, en la tarea en que los sujetos debían atender a las líneas, este efecto de la atención también ha sido visto en otros estudios (Holmes, Kiss, & Eimer, 2006; Holmes, Vuilleumier, & Eimer, 2003). Nuevamente en este trabajo no se

encontraron diferencias en el N170 en las caras con emoción y caras sin emoción. Otro estudio con resultados similares es el realizado por Ashley, Vuilleumier, & Swick (2004).

Estos componentes y su respuesta frente a caras con contenido emocional también han sido asociados a las frecuencias espaciales en que se presenta la imagen, Pourtois, Dan, Grandjean, Sander, & Vuilleumier (2005), observaron que P1 era modificado por la frecuencia espacial, siendo mayor la amplitud de este componente en respuesta los estímulos no filtrados que para los estímulos filtrados, además se observó que P1 presentaba diferencias entre expresiones de miedo y caras con expresión neutra solo en las imágenes presentadas a baja frecuencia y las imágenes no filtradas, es decir, las imágenes en alta frecuencia no permitían discriminar entre la presencia o no de emoción. Además, se observó que el componente N170 era eliminado al utilizar las imágenes híbridas filtradas, a su vez, las imágenes sin filtrar no se afectaron por la expresión facial.

Otro trabajo que estudió las frecuencias espaciales y expresiones faciales fue el de Vlamings, Goffaux, & Kemmer (2009), ellos observaron que en imágenes ecualizadas había mayor amplitud para las imágenes de miedo a baja frecuencia comparadas con las imágenes neutras. En este estudio además, se observó que las caras de miedo a baja frecuencia, aumentaban la amplitud del componente N170.

Holmes, Winston, & Eimer (2005), realizaron un estudio similar, presentando imágenes de caras con expresión facial de miedo y caras neutras, junto con imágenes de casas, sin filtrar, filtradas a alta y baja frecuencia al centro de la pantalla. Se observó un componente positivo frontocentral entre los 160 y 200 ms (VPP, vertex potencial positivo). En este estudio, tanto este componente como el N170 presentaron mayor amplitud para caras que para casas en todas las frecuencias, sin embargo, solo el VPP presentó diferencias entre caras con expresión y caras neutras, en imágenes sin filtrar, no observándose diferencias en las imágenes filtradas. El N170 no presentó diferencias entre caras con expresión y caras neutras en ninguno de los estímulos.

Según estos antecedentes se puede determinar que hay un componente central temprano que se relaciona con el reconocimiento de expresiones faciales,

que es afectado por la atención y por su ubicación espacial. Además, los datos apuntan hacia una relación entre los componentes P1 y N170 con el análisis visual de caras con expresión, sin embargo, aún falta evidencia al respecto.

2.6 Coda

En resumen, hay fuerte evidencia de una lateralización en el procesamiento de expresiones faciales y de frecuencias espaciales. También se conoce la importancia de las frecuencias bajas para la detección del miedo. Sin embargo, no está claro si estas frecuencias revisten la misma importancia para otras expresiones, ni si existe clara lateralización en el procesamiento de las frecuencias altas y bajas en el reconocimiento de expresiones.

En este trabajo se propone que dado que existe una lateralización hemisférica para el procesamiento de expresiones faciales, y a su vez existe lateralización en el procesamiento de frecuencias espaciales. Si los distintos hemisferios cerebrales utilizan distinta información espectral para el procesamiento de las expresiones, esto se verá reflejado en el rendimiento de los sujetos. Para determinarlo se presentaron imágenes de caras con diferentes expresiones faciales, filtradas a altas y bajas frecuencias, a diferentes campos visuales y se midió el rendimiento en porcentaje de respuestas correctas y los tiempos de reacción de los sujetos, en una tarea de reconocimiento. Para corroborar si esta diferencia es propia de la percepción de expresiones faciales se utilizó como control una tarea de decisión de género. Además, se registró la actividad eléctrica del cerebro, a través del EEG, con el fin de determinar si existían cambios relacionados a la frecuencia espacial de los estímulos y al hemisferio de presentación.

3 Hipótesis de trabajo

Los hemisferios cerebrales presentan diferencias de actividad frente a estímulos naturales con diferentes composiciones espectrales, así como lateralización en el reconocimiento de expresiones faciales. Se propone que la especialización hemisférica en la percepción de expresiones faciales esta por tanto relacionada con el componente espectral. Entonces, la discriminación de expresiones faciales con diferentes componentes espectrales presentadas unilateralmente, se correlaciona con diferentes rendimientos medidos en porcentaje de respuestas correctas (PRC) o tiempos de reacción (TR).

4 Objetivos

4.1 General

Determinar el efecto de los componentes espectrales en imágenes de expresiones faciales -presentadas unilateralmente para cada hemisferio cerebral- en el rendimiento y tiempos de reacción de una tarea de discriminación simple.

4.2 Específicos

1. Aprender técnicas psicofísicas generales, incluyendo, programación de estímulos así como herramientas analíticas basadas en Matlab.
2. Comparar el rendimiento y tiempos de reacción en el reconocimiento de expresiones faciales en imágenes sin filtrar, filtradas a alta y baja frecuencias.
3. Comparar estos rendimientos y tiempos de reacción entre los estímulos presentados a uno y otro campo visual (activando preferencialmente cada uno de los hemisferios cerebrales).
4. Distinguir aspectos del procesamiento de expresiones emocionales en general al examinar una situación simple de discriminación de género.

5 Materiales y Métodos

5.1 Sujetos

Se reclutó un total de 32 participantes, todos diestros. Del total de participantes, 18 de ellos eran hombres, miembros de la comunidad universitaria de la Facultad de Medicina de la U. de Chile, el rango de edad de estos sujetos era de 18 a 35 años. De estos 18 sujetos, 10 participaron en el pilotaje de los estímulos y de la tarea en general y 8 participaron en la tarea control (discriminación de género). Los 15 sujetos restantes, participaron en la tarea de discriminación de expresiones faciales. Ellos fueron sujetos Brasileños (8 hombres y 7 mujeres) todos miembros del Instituto de Enseñanza e Investigación asociado al Hospital Sirio Libanes. El rango de edad de los sujetos fue de 25 a 49 años. Todos tenían visión normal o corregida a normal y no presentaban alteraciones neurológicas o consumo de medicamentos incompatibles con el estudio. Todos los sujetos debían firmar un consentimiento informado antes de participar en el experimento.

5.2 Estímulos

Para la tarea de reconocimiento de expresión facial se utilizaron 12 imágenes en blanco y negro (256 escala de grises) de caras con expresión facial de miedo y alegría, representadas por seis *modelos* diferentes (3 hombres y 3 mujeres). Estas imágenes fueron tomadas de la base de datos de BU-3DFE (Binghamton University 3D Facial Expression database). Las imágenes fueron filtradas con un filtro pasa alto > 6 ciclos/grado visual y un filtro pasa bajo < 4 ciclos/grado visual, utilizando herramientas de manejo de imágenes de MATLAB. Como resultado se obtuvieron 36 imágenes, 12 de baja frecuencia, 12 de alta frecuencia y 12 sin filtrar (Fig 1).

Cada imagen fue presentada en dos posiciones: en el campo visual derecho y en el campo visual izquierdo. Por lo tanto, se utilizaron 72 estímulos o posibilidades de presentación (2 expresiones x 6 modelos x 3 filtros x 2 posiciones). Para la tarea de discriminación de expresión facial, existían 3 grandes condiciones dependientes de: (1) Hemisferio de presentación (Hemisferio derecho o Hemisferio izquierdo), (2) Frecuencia espacial de la imagen presentada (Sin Filtro, Alta frecuencia o Baja frecuencia), (3) Expresión Facial (Miedo Alegría). Estas condiciones podían generar

diferentes interacciones generando 6 nuevas condiciones. Para facilitar la comprensión de las distintas condiciones se presenta un resumen en la Tabla 1.

Tabla 1. Condiciones para la tarea de Discriminación Expresión Facial

Categoría	Nombre de la Condición		
Hemisferio de presentación	Hemisferio Derecho	Hemisferio Izquierdo	
Frecuencia espacial de los estímulos de presentación	Sin Filtrar	Baja frecuencia	Alta frecuencia
Expresión facial	Miedo	Alegría	
Interacción			
	Condición 2		
Condición 1	Sin Filtrar	Baja frecuencia	Alta frecuencia
Hemisferio Derecho	Sin Filtrar/ HD	Baja Frecuencia / HD	Alta Frecuencia/ HD
Hemisferio Izquierdo	Sin filtrar / HI	Baja Frecuencia/ HI	Alta Frecuencia/ HI

Para la tarea control, una tarea de discriminación simple de género, se presentaron 36 imágenes, con expresión facial neutra, de género masculino y femenino, utilizando los mismos filtros y presentándolas en dos posiciones (2 géneros x 6 modelos x 3 filtros x 2 posiciones). El proceso utilizado para estas imágenes fue el mismo que el utilizado para las imágenes con expresión facial. La Tabla 2 presenta un resumen de las condiciones para esta tarea.

Tabla 2. Condiciones para la tarea de Discriminación de Genero

Categoría	Nombre de la Condición		
Hemisferio de presentación	Hemisferio Derecho	Hemisferio Izquierdo	
Frecuencia espacial de los estímulos de presentación	Sin Filtrar	c/Filtro pasa-bajo	c/Filtro pasa-alto
Género	Hombre	Mujer	
Interacción			
	Condición 2		
Condición 1	Sin Filtrar	Baja frecuencia	Alta frecuencia
Hemisferio Derecho	Sin Filtrar HD	c/Filtro pasa-bajo	c/Filtro pasa-alto
Hemisferio Izquierdo	Sin Filtrar HI	c/Filtro pasa-bajo	c/Filtro pasa-alto

Las imágenes de la tarea de discriminación de expresiones faciales fueron presentadas en un monitor Modelo: DV998FDB Mitsubishi 19", tamaño máximo visible de 21" con una superficie con recubrimiento anti-reflejo y antiestático. La resolución fue de de 800 x 600 pixeles a una tasa de refresco de 85 Hz. El monitor se ubicó una distancia de 57 cms del sujeto, por lo cual las imágenes abarcaron 40° horizontales y 30° verticales. Las imágenes de la tarea control fueron presentadas en un monitor ViewSonic P815 de 21" (20" visuales reales), La resolución fue de de 800 x 600 pixeles a una tasa de refresco de 85 Hz. El monitor se encontraba a una distancia de 57 cms, por lo que las imágenes abarcaron 40° visuales horizontales y 30° verticales.

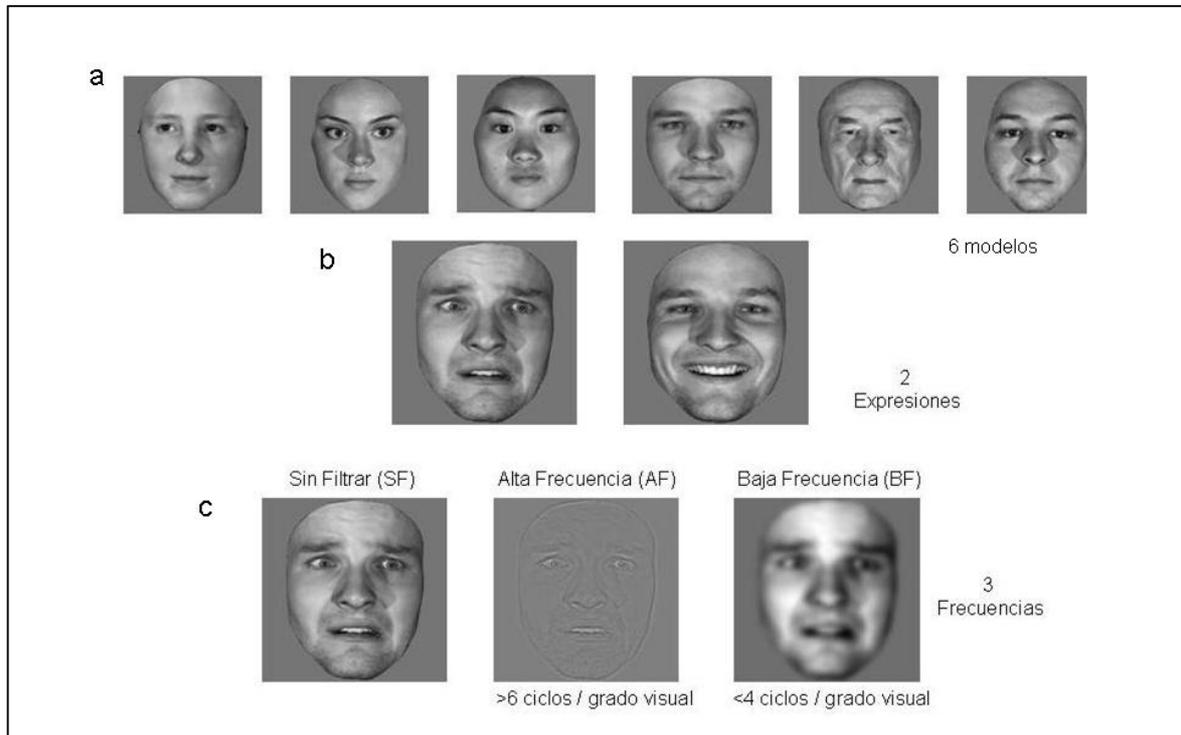


Fig. 1 Ejemplos de estímulos. Las imágenes de caras fueron tomadas de la base de datos de BU-3DFE. (Binghamton University 3D Facial Expression database). (a) Imágenes en blanco y negro y sin filtrar, de los 6 modelos con expresión facial neutra (utilizada en la tarea de reconocimiento de género). (b) Ejemplo de imagen en blanco y negro, sin filtrar de la cara de un hombre con expresión facial de miedo y alegría. (c) Ejemplo de imágenes en blanco y negro, sin filtrar, filtrada a baja frecuencia y filtrada a alta frecuencia

5.3 Procedimiento

5.3.1 Pilotaje

Se realizó un pilotaje de la tarea de Reconocimiento de expresiones faciales a un total de 10 sujetos. La tarea consistió en 720 ensayos, divididos en 10 bloques de 72 estímulos. En cada bloque, se presentaron todos los estímulos en forma aleatoria (2 expresiones x 6 modelos x 3 filtros x 2 posiciones). Previo a la aparición del estímulo aparecía al centro de la pantalla un punto de fijación, se dio al sujeto la instrucción de fijar su vista en este punto y apretar un botón de la botonera cuando hubiera realizado la fijación, para que apareciera la imagen. Además, se instruyó al sujeto a mantener la vista fija en el centro de la pantalla durante la aparición del

estímulo, independiente de la ubicación en que apareciera la imagen. Los estímulos fueron presentados durante 100 ms en dos posiciones: en el campo visual derecho y en el campo visual izquierdo. Luego de la imagen con expresión facial aparecía una máscara de ruido blanco por ~50 ms, posteriormente, volvía a aparecer el punto de fijación. El sujeto fue instruido a responder lo más rápido posible, apretando la botonera una vez que desaparecía la imagen, en una tarea de elección forzada entre miedo y alegría.

Durante la tarea se realizó un registro de electroencefalograma (EEG). La señal se registró utilizando una gorra de 21 canales con el sistema de montaje estándar de 10-20 (Easycap GmbH, Herrsching-Breitbrunn, Alemania), más dos electrodos para el registro de los movimientos oculares. La impedancia de los electrodos se mantuvo por debajo del 5 K Ω . La señal de EEG de cada electrodo fue registrada utilizando un amplificador de EEG construido con amplificadores diferenciales 120 dB CMRR (Burr Brown), digitalizadas a 1 kHz con una banda de paso de 0,5 a 250 Hz (-3dB de baja y alta frecuencia de corte, respectivamente). El registro fue grabado para el procesamiento off-line

Se controló que los ojos permanecieran fijos en un el centro de la pantalla registrando los movimientos oculares a través del sistema de electroculografía del EEG. En el análisis posterior de los datos, si se detectaba movimiento ocular durante 100 ms antes, hasta 50 ms después del periodo en que aparecía la imagen el trial era considerado no valido para el análisis de rendimiento o TR.

Se realizó un análisis preliminar de los resultados comportamentales del pilotaje (PRC y TR) para los 10 sujetos registrados. En este análisis no se observaron diferencias significativas en los rendimientos y TR, observándose un aumento en los tiempos de reacción hacia el final de la sesión. Por esta razón se decidió acortar a 576 ensayos por sesión la tarea final.

5.3.2 Experimento

Tarea de *Discriminación de expresiones*

Cada sesión del experimento se dividió en tres partes: Un bloque de oculografía, un bloque de familiarización y dos bloques que correspondían a la tarea. El bloque de oculografía consistió en presentar un punto en el que la persona debía fijar la vista, posteriormente, la persona debía apretar un botón para que apareciera un segundo punto, aproximadamente a 2 grados visuales de separación del primero. Se dio al sujeto la instrucción de cambiar la vista hacia este segundo punto cada vez que apareciera. Los puntos aparecían en cuatro direcciones (arriba, abajo, lado derecho y lado izquierdo). Este ciclo se repitió 4 veces. De esta manera, se generó un registro de *EEG* de los movimientos oculares de cada sujeto que permitió, posteriormente, identificar los movimientos oculares pequeños ocurridos durante la tarea. Para asegurar el adecuado rendimiento de los sujetos se realizó un bloque de familiarización de 15 ensayos, previo al inicio de la tarea para que los sujetos aprendieran la manipulación motora y se familiarizaran con el significado de los botones.

En la tarea propiamente tal se presentaron un total de 576 ensayos en cada sesión, divididos en 2 bloques. En cada bloque, se realizaron 288 ensayos, presentado en total 4 repeticiones de los 72 estímulos (2 expresiones x 6 modelos x 3 filtros x 2 posiciones), en forma aleatoria. El sujeto se ubicó cómodamente sentado a una distancia de 57 cms del monitor, en una sala oscura y libre de distractores; el sujeto y el monitor se encontraban dentro de una jaula de Faraday para evitar la contaminación de la señal del EEG (fig. 2).

Los estímulos fueron presentados durante 100 ms en cada campo visual. Previo a la aparición de la imagen aparecía al centro de la pantalla un punto de fijación y, al igual que en el pilotaje, se dio al sujeto la instrucción de fijar su vista en este punto y apretar el botón de la botonera cuando se encontrara listo para comenzar. Además, se instruyó al sujeto a mantener la vista fija en el centro de la pantalla hasta que desapareciera el estímulo, independiente de la ubicación en que apareciera la imagen. Luego de que el sujeto apretaba el botón, pasaban 500 ms y

aparecía la imagen con la expresión facial, posterior a la imagen aparecía una máscara de ruido blanco durante ~50 ms para prevenir la persistencia de la imagen en la retina. Después de la máscara volvía a aparecer el punto de fijación. En ese momento, el sujeto debía responder lo más rápido posible. Los sujetos debían realizar una elección forzada entre dos alternativas (miedo/alegría), pulsando en la botonera con uno de sus dedos índices. Para 8/15 sujetos el botón de la mano izquierda representaba la expresión de miedo y el botón de la derecha alegría, invirtiéndose esta disposición en la otra mitad de los sujetos. Los sujetos disponían de un máximo de tiempo de dos segundos para sus respuestas, luego del cual, si no habían pulsado botón, el ensayo se daba por terminado.

5.3.3 Control

Discriminación de género

Se midió el rendimiento en reconocimiento de género en caras neutras para distinguir si los componentes espectrales influyen de manera particular en el procesamiento de las expresiones faciales o es una característica presente en el procesamiento de caras en general. En esta tarea se presentaron caras con expresión neutra, en tres condiciones (sin filtro, filtradas a altas frecuencias y filtradas a bajas frecuencias) presentadas en dos posiciones (izquierda y derecha). Evaluando el rendimiento de los sujetos en el reconocimiento de género, en una tarea de elección forzada, los sujetos debieron decidir entre las alternativas (hombre/mujer). Al igual que para la tarea de discriminación de expresiones faciales, se midió el PRC y TR. La cantidad de estímulos, ensayos y el procedimiento utilizado para realizar la tarea fue el mismo que el descrito para la tarea de discriminación de expresiones faciales.

5.3.4 Registro Electroencefalográfico

Todos los sujetos fueron registrados con EEG, utilizando un registro continuo, con un sistema de 128-canales (SynAmps2 128 Channel Quik-Cap). Este sistema posee 124 canales ubicados en el cuero cabelludo y 4 canales de oculografía, uno horizontal y uno vertical para cada ojo (fig. 2).

La adquisición de los datos fue hecha utilizando el Software Neuroscan (Scan 4.3.3) con una frecuencia de muestreo de 1000 Hz/canal y con un pasa-banda de 0.1 a 100 Hz. Se utilizó una referencia bilateral ubicada en el lóbulo de cada oreja. La impedancia de los electrodos se mantuvo bajo los 10 k Ω .



Fig. 2 Ejemplo Registro Reconocimiento de expresiones. El sujeto se ubicó cómodamente sentado a una distancia de 57 cms del monitor, el registro se llevo a cabo en una sala oscura y libre de distractores. Utilizando un registro continuo, con sistema de 128-canales en el cuero cabelludo del sujeto (SynAmps2 128 Channel Quik-Cap) más 4 canales de oculografía. Para evitar la interferencia de la señal del EEG el sujeto se encontraba aislado dentro de una jaula de Faraday.

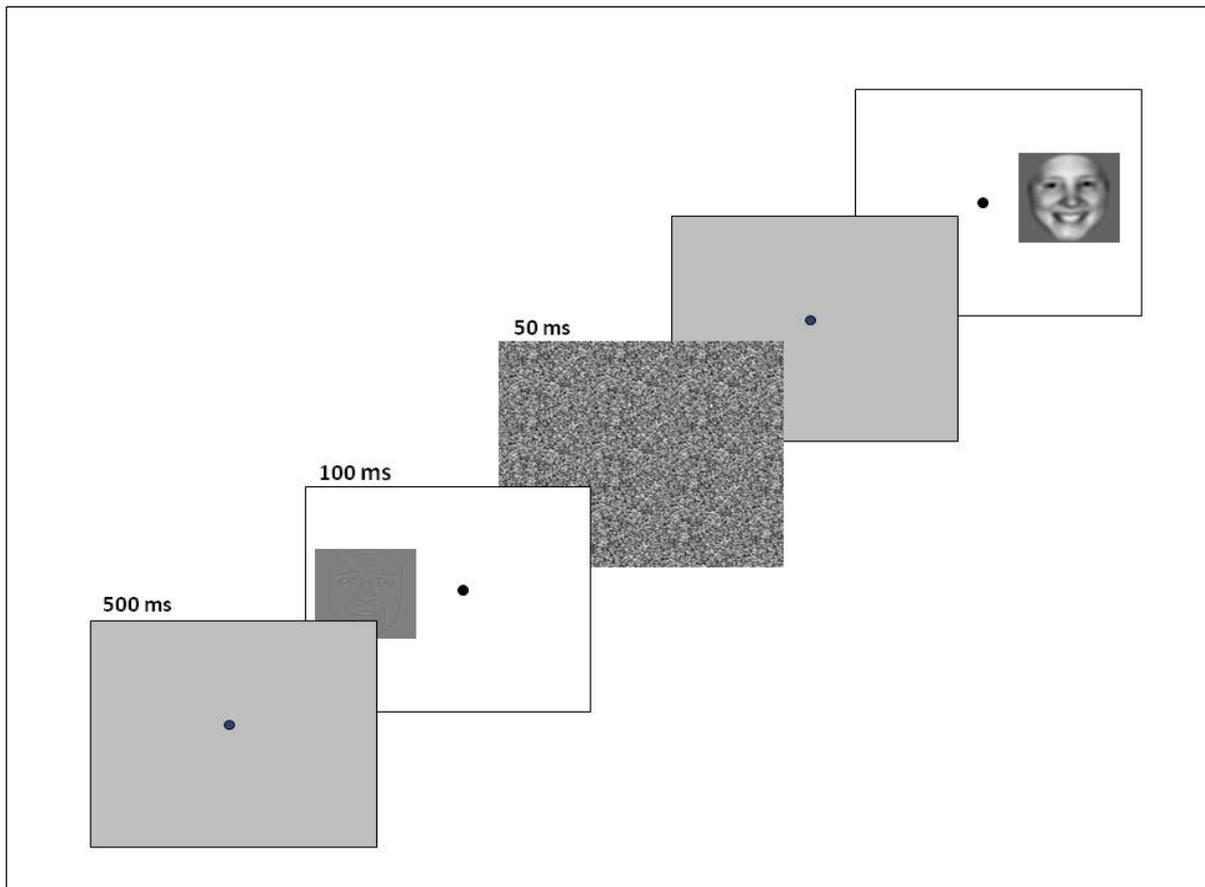


Fig. 3 Ejemplo la tarea de reconocimiento de expresiones faciales. Se presentaron imágenes de caras con las expresión facial de alegría y miedo en tres condiciones: sin filtro y filtradas a baja y alta frecuencias. Previo a la aparición de la imagen se presentó un punto de fijación al centro de la pantalla, luego que el sujeto apriete el botón el punto central permaneció durante 500 ms. Posteriormente, las imágenes fueron presentadas aleatoriamente, durante 100 ms, en dos posiciones: campo visual derecho y campo visual izquierdo. Luego de la aparición de la imagen se presentó una máscara de ruido blanco por 50 ms.

5.4 Análisis de los resultados

5.4.1 Análisis de Resultados Conductuales

El rendimiento de los sujetos en el procesamiento de las expresiones faciales se midió a través del porcentaje de respuestas correctas y los tiempos de reacción de las respuestas correctas, calculando el tiempo transcurrido entre la aparición de la imagen y la respuesta del sujeto. Como se mencionó anteriormente, no se consideraron los ensayos en los que los sujetos desviaban la mirada del centro de la pantalla. Estos elementos se caracterizan de la siguiente manera:

- *Porcentaje de respuestas correctas (PRC)*: Se consideró como respuesta correcta las repuestas en las que coincidía el botón correspondiente a la expresión facial presentada y los ojos habían permanecido en el centro de la pantalla. Si algún sujeto no lograba un PRC sobre el 75% al menos en 4 de las 6 condiciones, este no era considerado para el análisis de los resultados.

- *Tiempos de reacción (TR)*: Se consideró el tiempo de reacción para las respuestas correctas en aquellas condiciones donde el sujeto había respondido más del 75% de los ensayos correctamente. El tiempo de reacción se calculó desde la aparición de la imagen hasta que el sujeto apretó el botón.

- Para realizar el análisis estadístico de los resultados comportamentales medidos a través de los TR y PRC, en primer lugar se procedió a determinar si la distribución de los datos era normal, utilizando la prueba de Shapiro-Wilks y luego se determinó si existía homogeneidad de varianza, a través de la prueba de Levene.

- Debido a que la distribución de los datos fue normal y presentaron homogeneidad de varianza, se utilizó un ANOVA factorial para determinar si existían diferencias significativas entre los PRC y TR, para las diferentes condiciones.

5.4.2 Análisis de Resultados EEG

Si bien los objetivos de esta tesis no contemplaban el análisis de los resultados electrofisiológicos, tomando en cuenta los resultados comportamentales obtenidos y la calidad de la información a través del registro EEG, se decidió realizar un análisis comparativo exploratorio de los datos obtenidos. Para esto, se calculó el ERP de cada condición y se realizó la comparación entre las diferentes condiciones. Para realizar estas comparaciones fueron tomadas en cuenta solo las respuestas correctas.

A continuación se detalla el procedimiento de análisis de los registros EEG:

- Se importaron los datos de cada sujeto obtenidos con el Software Neuroscan (Scan 4.3.3), se procesaron en MATLAB para ser leídos por la herramienta de

MATLAB, Fieldtrip, además, se remuestrearon los datos a una frecuencia de 500 Hz con el fin de hacerlos más livianos para el procesamiento.

- Todos los datos fueron filtrados digitalmente utilizando un filtro pasa-banda entre 1 y 25 Hz implementados en MATLAB.

- La señal fue segmentada en épocas de 1500 ms. calculadas a partir de la aparición de la imagen (500 ms. antes de la imagen y 100 ms. después) y fueron agrupadas en las diferentes condiciones a comparar.

- Se revisó cada uno de los ensayos a través de inspección visual para eliminar aquellos ensayos donde existiera algún artefacto como movimientos oculares u otro tipo de ruido de la señal.

- Se calculó el ERP entre los -200 ms y 500 ms para cada sujeto en cada una de las condiciones utilizando Fieldtrip. Posteriormente, se calculó el gran promedio de todos los ERP obteniendo el ERP grupal por condición. Se tomaron 250 ms antes de iniciado el estímulo para establecer una línea de base y se analizó hasta los 500 ms, ya que el interés de esta tesis radica en conocer que ocurre en los componentes tempranos. El procedimiento para el cálculo y comparación de los ERP fue el siguiente:

- Se calculó el promedio de los ERP de todos los sujetos (*gran promedio*).

- De acuerdo a la literatura se definieron los componentes del ERP (P1, N1, N170 y P200 o VPP) a analizar y tres regiones de interés, asociadas a la percepción de caras (región occipital, región temporooccipital y región frontocentral)

- Se analizó la señal promediada de dos electrodos para cada región de interés: (1) región occipital: electrodos occipitales derechos (95,96) e izquierdos (40,41); (2) región temporooccipital: electrodos temporooccipitales derechos (101,102) y temporooccipitales izquierdos (22,23) y (3) región frontocentral electrodos frontocentrales (59,60).

- Se determinaron los componentes de interés para cada región, a partir del promedio de todos los sujetos para ese canal:

- Región occipital (electrodos occipitales laterales derecho e izquierdo):
En esta región se analizaron los componentes P1 y N2. El componente

P1 es definido como primer componente positivo alrededor de los 100 ms, este componente fue determinado en relación a la línea de base, y se encontró entre los 70 y 150 ms. En relación a P1, se calculó N2, definido como el primer componente negativo el rededor de los 170 ms, él que se encontró entre 140 y 220 ms. A este componente se le se llamó N2, para diferenciarlo del N170 el cual aparece en la región temporoccipital (Nakashima et al., 2008).

- Región temporoccipital: En esta región (izquierda y derecha) se analizó el componente N170, componentes negativo alrededor de los 170 ms, encontrado entre 70 y 180 (HD) y entre 80 y 200 ms (HI) y un componente positivo alrededor de los 250 ms definido como P200, encontrado entre 180 y 250 ms (HD) y 200 y 270 (HI) (Holmes, Kiss, & Eimer, 2006a).
- Región frontocentral: Se analizó el componente N1 primer componente negativo el rededor de los 100 ms, encontrándose entre 50 y 190 ms (HD) y entre 70 y 190 (HI) el PVV (vertex positive potential, Holmes, Winston, & Eimer, 2005) en la región central entre 190 y 260 (HD) ms y 200 y 265 (HI).
- Se compararon los *gran promedio* de las distintas condiciones para cada componente utilizando un ANOVA Factorial. De acuerdo con la literatura, se analizaron los ERP diferencialmente por cada región de interés y se comparó la amplitud y la latencia de los componentes mencionados anteriormente. Para cada región se realizó un ANOVA Factorial (Filtro x Expresión), ya que existe evidencia controversial sobre si estos componentes son sensibles a las expresiones faciales y a las frecuencias espaciales. Para efectos de esta tesis no se compararon estadísticamente los componentes entre hemisferios cerebrales.

6 Resultados

6.1 Resultados Conductuales

6.1.1 Tarea Discriminación de Expresiones

De los 15 sujetos participantes en este estudio, 2 de ellos fueron descartados del análisis por presentar una relación señal ruido en el EEG de baja calidad, razón por la cual no se pudo realizar el análisis oculográfico. Otros 2 sujetos fueron descartados debido a que no cumplieron con el criterio de presentar sobre el 75% de PRC en al menos el 4 de las 6 de las condiciones. Por lo tanto, se analizó los datos de 11 sujetos.

Tanto los datos de los PRC ($p=0,08$) como los TR ($p=0,58$) presentaron una distribución normal evaluado que el test de Shapiro-Wilks. Además, estos datos presentaron igualdad de varianza evaluado a través de test de Levene PRC ($p=0,85$) y TR ($p=0,9$).

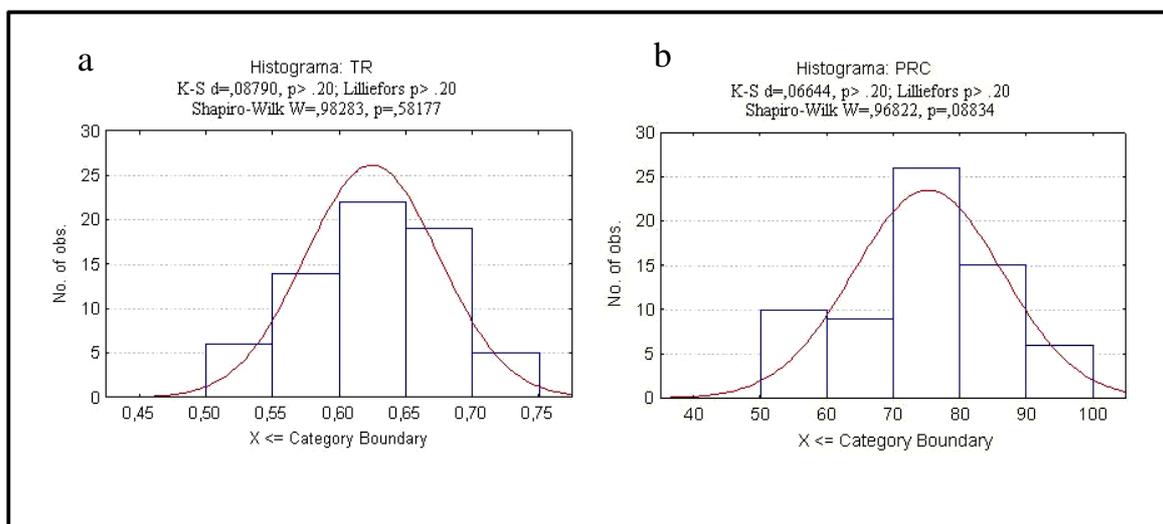


Fig. 4 Histogramas Distribución de datos PRC y TR. (a) Muestra una distribución normal de los datos de TR. (b) Nuestra una distribución normal de los datos de PRC.

Diferencias en el procesamiento dependiendo de la Expresión Facial.

Para determinar si las expresiones faciales influían en las respuestas de los sujetos, se compararon los rendimientos frente a las imágenes de las dos expresiones (miedo y alegría), sin importar el filtro ni el hemisferio al que fueron presentadas. La Tabla 3 muestra los promedios, Desviación Estandar (DE) y Error Estandar (EE) de los PRC y TR de los sujetos, para las imágenes con expresión de miedo y alegría. Se realizó la comparación entre estas dos condiciones (Fig 5) utilizando un ANOVA de una vía, no se observaron diferencias significativas entre ellas ($F(1,10)= 0,01$; $p =0,91$). Debido a que el objetivo de esta tesis es conocer la influencia de las frecuencias espaciales sobre el rendimiento de los sujetos por hemisferio cerebral y dado que no hay diferencias entre las expresiones, se juntaron ambas en una sola categoría para el resto del análisis, con el fin de disminuir el número de condiciones.

Tabla 3 Promedio de PRC y TR por Expresión facial

	Miedo		Alegría	
	PRC	TR	PRC	TR
Promedio	78.76%	623,42	77,52%	631,24
Desviación Estandar	9,02	49,31	8,9	44,64
Error Estandar	2,72	15,59	2,37	14,12

El siguiente grafico muestra los rendimientos de los sujetos para las condiciones de miedo y alegría. Además, muestra los rendimientos de cada uno de los sujetos.

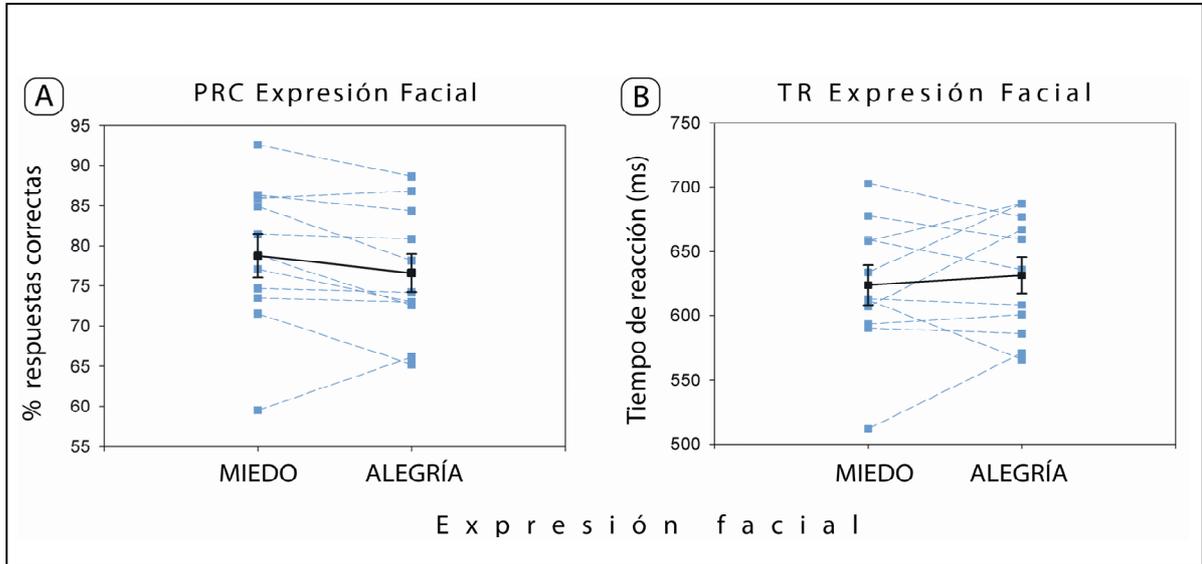


Fig 5 (a) Promedios y Error Estándar del PRC de los sujetos, así como el TR por sujeto para los estímulos de Miedo y Alegría. (b) Promedio y Error Estándar TR de los sujetos, así como el TR por sujeto para las mismas condiciones.

Además, se utilizó una ANOVA factorial (Hemisferio x Frecuencia) para realizar la comparación de los resultados tanto para el TR como para los PRC.

Diferencias en el procesamiento dependiendo del Hemisferio cerebral al que fueron presentados los estímulos

La Tabla 4 muestra los promedios, Desviación Estandar y Error Estandar de los PRC y TR de los sujetos, al presentar los estímulos al Hemisferio Derecho y al Hemisferio Izquierdo. No se observaron diferencias significativas en los PRC ($F(1,10)= 2,21; p =0,63$) y TR ($F(1,10)= 0,13; p =0,48$) para los estímulos presentados a uno u otro Hemisferio cerebral (Fig 6).

Tabla 4 Promedio de PRC y TR por Hemisferio cerebral

	Hemisferio Derecho		Hemisferio Izquierdo	
	PRC	TR	PRC	TR
Promedio	79.46%	661,26	76,82%	624,36
Desviación Estandar	4,77	73,37	5,79	154,05
Error Estandar	1,44	20.9	1,75	22

A continuación se presentan los gráficos que muestran los rendimientos de los sujetos en PRC y TR, así como el rendimiento por sujeto para los estímulos presentados a un hemisferio y a otro.

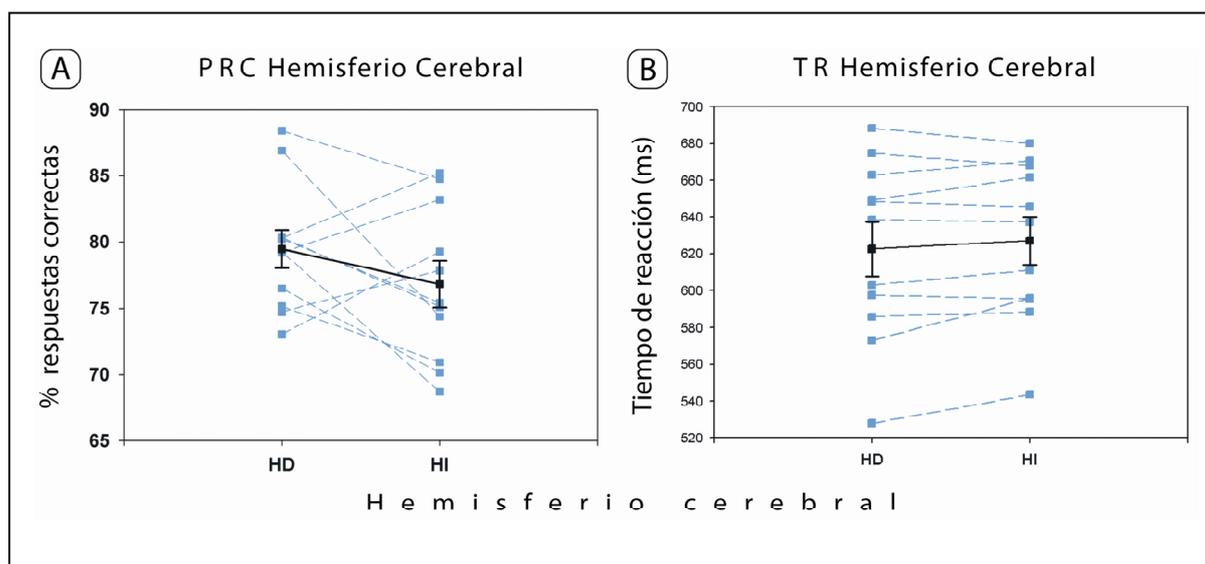


Fig 6 Promedios y error estándar del PRC y TR de los sujetos (línea negra continua), así como el PRC por sujeto (línea gris entrecortada) para los estímulos presentados a un hemisferio y a otro (a) Promedio y error estándar del PRC de los sujetos, así como el rendimiento por sujeto para los estímulos presentados a un hemisferio y a otro (b) Promedio y error estándar del TR de los sujetos, así como el rendimiento por sujeto para los estímulos presentados a un hemisferio y a otro.

Los PRC por hemisferio cerebral mostraron dos grupos de sujetos, uno con mayor rendimiento frente a los estímulos presentados al HI y otro frente a los estímulos presentados al HD. Debido a esto, se realizó una segunda comparación, separando a los sujetos en categorías, de acuerdo la tendencia en sus rendimientos (Fig. 7). Se observó que 7/11 sujetos presentaron un PRC mayor para los estímulos presentados al HD (promedio de 81% HD y 74,22% HI, DS 4,97 y 5,33) y 4/11 para los presentados al HI (promedio de 76,38 HD y 81,38 HI, DS 3,47 y 3,41) HI. Debido a lo pequeño de cada grupo no se comparó los rendimientos estadísticamente. Sin embargo, a partir de los resultados obtenidos, se puede establecer que no hay diferencias importantes entre los hemisferios cerebrales en ninguno de los grupos. A continuación se presentan los gráficos que muestran los de los rendimientos de los sujetos.

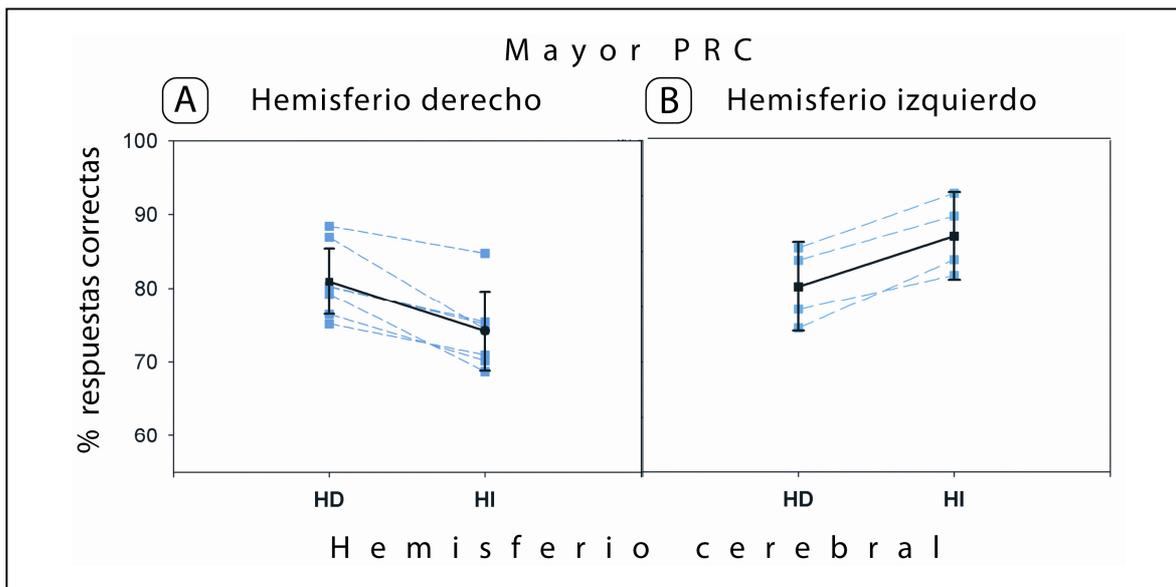


Fig 7 Promedios y DE del PRC de los sujetos, así como el rendimiento por sujeto para los estímulos presentados a un hemisferio y a otro. Los sujetos han sido agrupados en relación al rendimiento según hemisferio cerebral de presentación de los estímulos. (a) Promedio y DS del PRC del grupo de sujetos (línea negra continua) que rindió mejor frente a los estímulos presentados al HD, así como el rendimiento por sujeto (línea gris entrecortada) de este grupo, para los estímulos presentados a un hemisferio y a otro. (b). PRC del el grupo de sujetos que rindió mejor frente a los estímulos presentados al HI y rendimiento por sujeto para los estímulos, presentados a un hemisferio y a otro.

Diferencias en el procesamiento dependiendo de la frecuencia de los estímulos presentados.

Para determinar si las frecuencias espaciales producían un efecto en el rendimiento de los sujetos se analizaron las respuestas de estos frente a estímulos con diferentes frecuencias espaciales, sin importar el campo visual al que había sido presentada la imagen.

La Tabla 5 muestra los promedios, Desviación Estandar y Error Estandar de los PRC y TR de los sujetos, para los estímulos Sin filtrar, con filtro pasa-bajo y filtro pasa-alto. El análisis estadístico (Fig. 8) mostró diferencias significativas en los PRC de los estímulos presentados a diferentes frecuencias espaciales ($F(2,20)= 15,62$; $p =0.00$). El análisis post-hoc reveló diferencias en los rendimientos entre las imágenes sin filtrar, quienes presentaban mayores PRC que el resto de las imágenes, filtradas alta y baja frecuencia ($p =0.00$). También se encontraron diferencias significativas, aunque menores, en los TR ($F(2,20)= 3,27$; $p=0,036$). El análisis post-hoc reveló que las imágenes en frecuencias altas presentaban mayores tiempos de reacción que las imágenes sin filtrar ($p=0,04$).

Tabla 5 Promedio de PRC y TR por Frecuencia espacial

	Expresiones Sin Filtrar		Expresiones c/Filtro pasa-bajo		Expresiones c/ Filtro pasa-alto	
	PRC	TR	PRC	TR	PRC	TR
Promedio	85,15%	607,84	74,78%	621,39	74,49%	645,63
Desviación Estandar	6,13	37,95	5,06	54,03	9,55	46,54
Error Estandar	1,68	12	1,28	17,08	2,58	14,71

Los siguientes gráficos muestran el rendimiento de los sujetos para cada una de las Frecuencias Espaciales. Además, se muestra el rendimiento por sujeto.

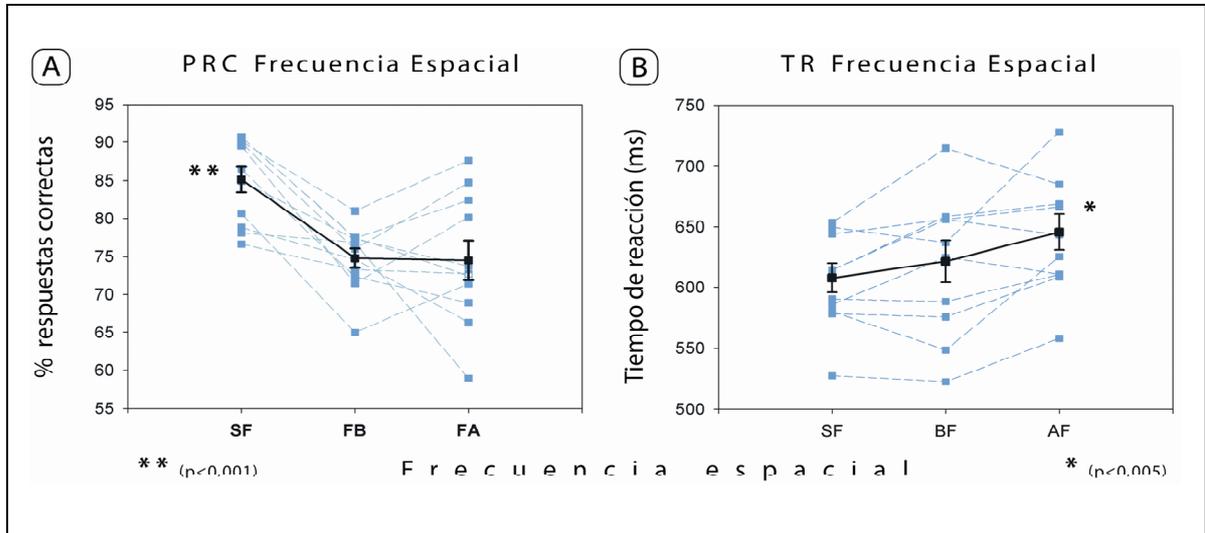


Fig 8 (a) Promedios y Error estándar del PRC de los sujetos (línea negra continua), así como el rendimiento por sujeto para los estímulos (línea gris entrecortada) sin filtrar (SF), Filtrados a baja frecuencia (FB) y a alta frecuencia (FA). **(b)** Promedios y Error estándar del TR de los sujetos, así como el TR por sujeto para las mismas condiciones.

Diferencias en el procesamiento dependiendo de la frecuencia de la imagen y Hemisferio de presentación

La Tabla 6 muestra los promedios, Desviación Estandar y Error Estandar de los PRC de los sujetos, frente a los estímulos sin filtrar, con filtro pasa-bajo y filtro pasa-alto presentados al Hemisferio Derecho y al Hemisferio Izquierdo. La Tabla 7 muestra los promedios, Desviación Estandar y Error Estandar de los TR de los sujetos, frente a los estímulos sin filtrar, con filtro pasa-bajo y filtro pasa-alto presentados al Hemisferio Derecho y al Hemisferio Izquierdo.

No hubo un efecto significativo en la interacción Hemisferio x Frecuencia, para los PRC ($F(2,20)=0,13$; $p=0,88$), ni para los TR ($F(2,20)=0,13$; $p=0,88$). Sin embargo, existieron diferencias significativas entre las frecuencias (Fig. 9), tanto en el HD como en el HI ($p < 0,05$). El análisis Post-hoc mostró que en el HD la condición sin filtrar presentó significativamente mayores PRC que la condición baja frecuencia

($p=0,01$) y condición alta frecuencia ($p=0,01$) del mismo hemisferio. En el HI, al igual que en el HD, la condición sin filtrar presentó significativamente mayores PRC que bajas frecuencias ($p=0,04$) y que las altas frecuencias ($p=0,01$) del mismo hemisferio. No se encontraron diferencias significativas para los TR al analizar cada Hemisferio cerebral (Tabla 7).

Tabla 6. Promedio de PRC de los sujetos para las imágenes filtradas presentadas al Hemisferio Derecho en la tarea de discriminación de expresiones faciales

	Expresiones Sin Filtrar		Expresiones c/Filtro pasa-bajo		Expresiones c/Filtro pasa-alto	
	HD	HI	HD	HI	HD	HI
Promedio	86,74	83,57	75,46	74,1	76,19	72,76
Desviación Estandar	5,96	5,59	4,96	4,85	7,27	10,76
Error Estandar	1,89	1,77	1,57	1,53	2,3	3,4

Tabla 7. Promedio de TR de los sujetos para las imágenes filtradas presentadas al Hemisferio Izquierdo en la tarea de discriminación de expresiones faciales

	Expresiones Sin Filtrar		Expresiones c/Filtro pasa-bajo		Expresiones c/Filtro pasa-alto	
	HD	HI	HD	HI	HD	HI
Promedio	606,63	609,05	622,35	620,43	639,24	652,01
Desviación Estandar	42,2	35,57	58,29	51,02	46,64	47,05
Error Estandar	13,35	11,25	18,43	16,13	14,75	14,88

A continuación se muestran los gráficos que contienen los rendimientos de los sujetos para cada una de las condiciones de frecuencia espacial para cada hemisferio cerebral.

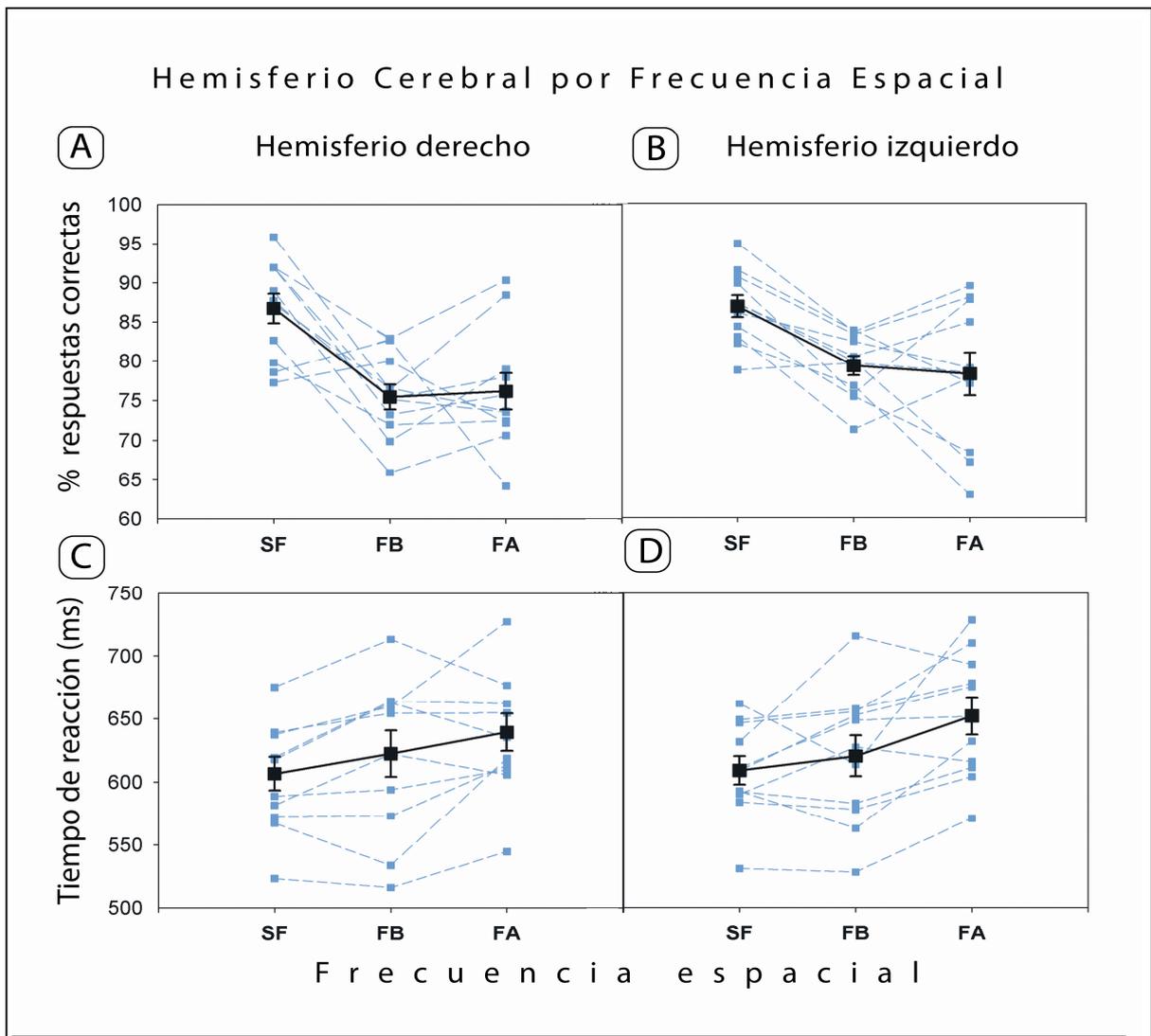


Fig 9 Promedios y Error Estándar del PRC de los sujetos (línea negra continua), sin filtrar, Filtrados a baja frecuencia y a alta frecuencia presentados al HD y PRC por sujeto (línea gris entrecortada) (a). Promedios y Error Estándar del PRC de los sujetos, sin filtrar, Filtrados a baja frecuencia y a alta frecuencia presentados al HI y rendimiento por sujeto (b). Promedios del TR de los sujetos (línea negra continua), sin filtrar, Filtrados a baja frecuencia y a alta frecuencia presentados al HD y TR por

sujeto (línea gris entrecortada) (c). Promedios del TR de los sujetos, sin filtrar, Filtrados a baja frecuencia y a alta frecuencia presentados al HI y rendimiento por sujeto (d).

6.1.2 Tarea de Discriminación de Genero

Se comparó los resultados utilizando un ANOVA factorial para la comparación de los PRC y TR.

El promedio de PRC para los estímulos presentados al HD (sin importar el tipo de filtro) fue de 98,75% con una DS de 3,46 y el TR fue de 717,89 con una DS de 129,3%. El promedio de PRC para los estímulos presentados al HI fue de 97,24% con una DS de 5,49 y el TR fue de 711 con una DS de 128,48. No se observaron diferencias significativas en los PRC y TR para los estímulos presentados a uno u otro Hemisferio cerebral.

Para conocer si existían diferencia en el rendimiento de los sujetos dependiendo de la frecuencia espacial de la imagen en esta tarea, se midió el rendimiento para cada filtro. El promedio de PRC para imágenes sin filtrar fue de 98.41%, con una DS de 4,13 y el TR fue de 732.45 ms con una DS de 138,04. El promedio de PRC para imágenes de baja frecuencia fue de 99.54% con una DS de 0.73, y el TR fue de 708.34 con una DS de 120,5, para las imágenes de alta frecuencia el PRC fue de 96,05 con una DS de 6,49 y el TR fue de 702,54 con una DS de 129,91 (Tabla 8). No se observaron diferencias significativas entre estas dos condiciones.

Tabla 8. Promedio de PRC de los sujetos para las imágenes filtradas presentadas al Hemisferio Derecho en Tarea Discriminación de género.

	Caras No Filtradas		Caras Filtradas Baja Frecuencias		Caras Filtradas Alta Frecuencia	
	PRC	TR	PRC	TR	PRC	TR
Promedio	98,41%	732,45	99,54%	708,34	96,05%	702,54
DS	4,13	138,04	0,73	120,5	6,49	129,91

En esta tarea, también se estudió la interacción entre filtro y hemisferio. Así, para los porcentajes de respuestas correctas para imágenes filtradas a alta frecuencia, baja frecuencia y sin filtrar presentadas al hemisferio derecho, los resultados fueron: 97,91% con una DS de 5,89; 99,24% con una DS de 0,87 y 99,11% con una DS de 1,65 respectivamente y 98,89% con una DS de 1,17; 99,85% con una DS de 0,42 y 92,99% con una DS de 8,12 para los mismos filtros en el hemisferio izquierdo (Tabla 8). Para las imágenes filtradas a alta frecuencia, baja frecuencia y sin filtrar, los tiempos de reacción en el hemisferio derecho fueron 735,68 ms con una DS de 145,86; 709,64 ms con una DS de 192,92 y 708,36 con una DS de 134,21 ms respectivamente, mientras que en el hemisferio izquierdo fueron de 729,23 ms con una DS 139,76 de; 707,04 ms con una DS de 126,5 y 696,73 con una DS de 134,44 ms respectivamente (Tabla 10). No se observaron diferencias significativas entre estas dos condiciones ($p > 0,05$).

Tabla 9 Promedio de PRC y TR por Frecuencia espacial en Tarea Discriminación de Género

	Expresiones No Filtradas		Expresiones Filtradas Baja Frecuencias		Expresiones Filtradas Alta Frecuencia	
	HD	HI	HD	HI	HD	HI
Promedio	97,91	98,89	99,24	99,85	99,11	92,99
DS	5,89	1,17	0,87	0,42	1,65	8,12

Tabla 10. Promedio de TR de los sujetos para las imágenes filtradas presentadas al Hemisferio Izquierdo en Tarea Discriminación de género

	Caras No Filtradas		Caras Filtradas Baja Frecuencias		Caras Filtradas Alta Frecuencia	
	HD	HI	HD	HI	HD	HI
Promedio	735,68	729,23	709,64	707,04	708,36	696,73
DS	145,86	139,73	192,92	126,5	134,21	134,44

6.2 Resultados EEG

Se analizó el registro de 11 sujetos que participaron en la tarea de discriminación de género. Se calculó el ERP de cada condición en cada sujetos entre 500 ms antes de comenzado el estímulo y 1000 ms después de presentado el estímulo. Se promedió los ERP para cada condición e interacción entre condiciones, luego se compararon las condiciones entre sí, entre -200 ms y 500 ms. A continuación se presentan los resultados separados por región de interés.

6.2 .1 Región Occipital

Se analizaron los resultados de los electrodos occipitales promediando la señal de los electrodos 41 y 42 para el hemisferio izquierdo y 95 y 96 para el hemisferio derecho. Con el fin de determinar si los componentes P1 y N2 eran afectados por la frecuencia espacial (Fig 10). Los análisis fueron realizados para ambos hemisferios entre 200 ms antes del estímulo y 500 ms posterior al estímulo.

En el HI no se observaron diferencias significativas en la amplitud ($F(2,20)=0,02$; $p=0,98$) o la latencia de P1 ($F(2,20)=0,1$; $p=0,91$), tampoco se observaron diferencias

de amplitud ($F(2,20)=0,38$; $p=0,68$) o de latencia ($F(2,20)=0,01$; $p=0,99$) del componente N2 ($F(2,20)=0,61$; $p=0,55$). Igualmente, no hubo diferencias en el HD para el componente P1 en la amplitud ($F(2,20)=0,61$; $p=0,55$) o en la latencia ($F(2,20)=0,11$; $p=0,89$); ni en el componente N2, amplitud ($F(2,20)=0,53$; $p=0,6$) y latencia ($F(2,20)=2,34$; $p=0,11$).

Con respecto a las Expresiones faciales no se observó diferencias entre las expresiones faciales para ninguno de estos componentes (Fig 11), en ninguna de las frecuencias espaciales ni hemisferio de presentación. Para el HI: P1 amplitud ($F(1, 10)=0,0$; $p=0,96$) y latencia ($F(1, 10)=0,27$; $p=0,6$). La interacción expresión frecuencia tampoco fue significativa: amplitud ($F(2,20)=0,6$; $p=0,93$) y latencia ($F(2,20)=0,37$; $p=0,98$). Al igual que en el componente anterior, el N2 no presentó diferencias amplitud ($F(1, 10)=0,04$; $p=0,84$) y latencia ($F(1, 10)=0,03$; $p=0,86$) según relacionadas a la expresión facial; la interacción expresión frecuencia tampoco fue significativa: amplitud ($F(2,20)=0,16$; $p=0,85$) y latencia ($F(2,20)=1,74$; $p=0,18$). Para el HD, P1 no presentó diferencias significativas en relación a la expresión facial: amplitud ($F(1,10)=0,05$; $p=0,81$) y latencia ($F(1, 10)=0,27$; $p=0,6$); la interacción expresión frecuencia tampoco fue significativa, amplitud ($F(2,20)=2,49$; $p=0,61$) y latencia ($F(2,20)=2,23$; $p=0,57$). El componente N2 tampoco presentó diferencias en amplitud ($F(1, 10)=2,23$; $p=0,13$) o latencia ($F(1,10)=0,11$; $p=0,74$); la interacción expresión frecuencia tampoco fue significativa, amplitud ($F(2,20)=0,37$; $p=0,69$) y latencia ($F(2,20)=0,08$; $p=0,92$).

A continuación se presentan los gráficos que muestran los ERP en la región occipital para las frecuencias espaciales y para las expresiones faciales en las tres condiciones (sin filtrar, baja frecuencia y alta frecuencia).

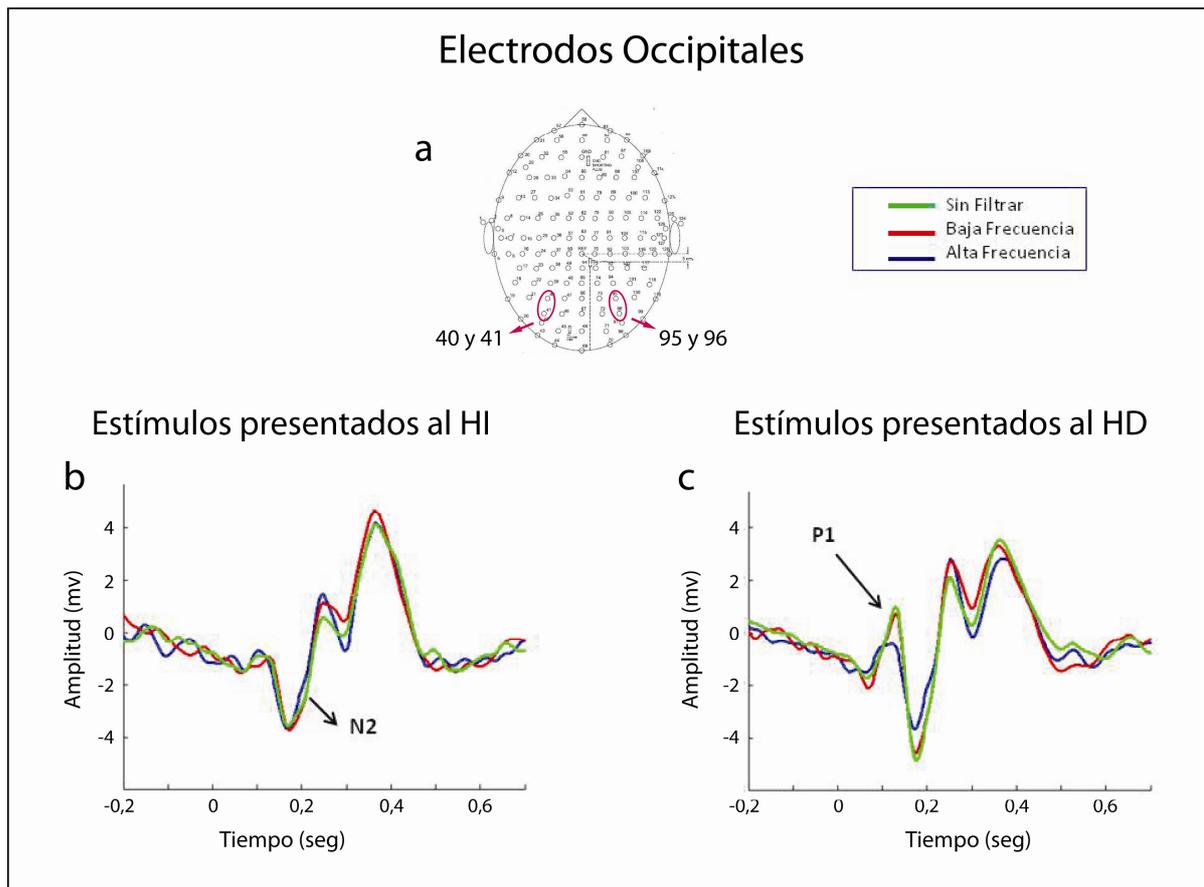


Fig 10 Comparación de los ERP para las condiciones sin filtrar (verde), baja frecuencia (rojo) y alta frecuencia (azul), presentadas al Hemisferio izquierdo (izquierda del cuadro) y derecho (derecha del cuadro), entre 200 y 600 ms. (a) Electrodo occipitales 40-41 HD y 95-96 electrodos izquierdos. (b) Comparación de ERP entre las condiciones sin filtrar, baja frecuencia y alta frecuencia de los estímulos presentados al HI en los electrodos izquierdos. (c) Comparación de ERP entre las condiciones sin filtrar, baja frecuencia y alta frecuencia de los estímulos presentados al HD en los electrodos derechos.

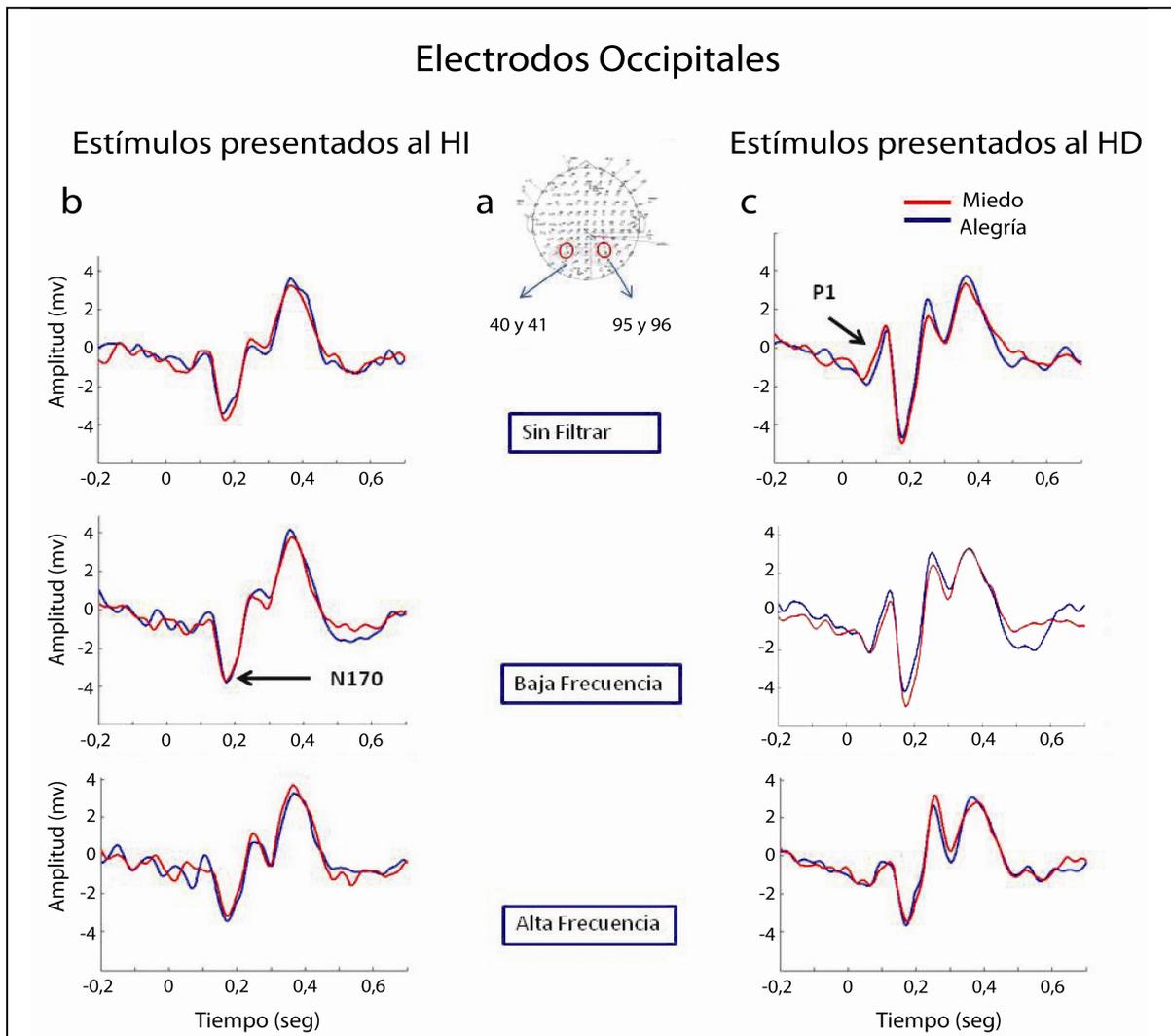


Fig 11 Comparación de los ERP para las condiciones Miedo (rojo) y Alegría (azul), presentada al Hemisferio izquierdo (izquierda del cuadro) y derecho (derecha del cuadro), en las condiciones Sin filtrar, Baja frecuencia y Alta frecuencia. Ventana de tiempo entre 200 y 600 ms. (a) Electrodo occipitales 40 - 41 HD y 95-96 electrodos izquierdos. Presentas en las condiciones Sin filtrar, Alta frecuencia y Baja frecuencia (b) Comparación de los ERP entre la condiciones miedo y alegría, para los estímulos presentados al HI en electrodos izquierdos, e las tres condiciones (c) Comparación de los ERP entre la condiciones miedo y alegría, para los estímulos presentados al HD en electrodos derechos, en las tres condiciones.

6.2.2 Electrodo Tepmporoccipitales

Se analizaron los resultados de los electrodos temporoccipitales promediando la señal de los electrodos 22 y 23 para el hemisferio izquierdo y 101 y 102 para el hemisferio derecho. Los análisis fueron realizados para ambos hemisferios entre 200 ms antes del estímulo y 600 ms posterior al estímulo. Se analizó si los componentes N170 y P200 eran afectados por la frecuencia espacial (Fig 12).

En el HI no se observaron diferencias significativas en la amplitud ($F(2,20)=0,05$; $p=0,96$) o la latencia del N170 ($F(2,20)=0,14$; $p=0,86$). En el componente P200 se observaron diferencias significativas en la amplitud ($F(2,20)=3,52$; $p=0,036$), el Post hoc reveló que la amplitud de la señal para las frecuencias altas era significativamente menor que para las imágenes sin filtrar ($p<0,05$). No se observaron diferencias en la latencia ($F(2,20)=1,24$; $p=0,3$) de este componente. En el HD no hubo diferencias entre las distintas condiciones para el componente N170 en amplitud ($F(2,20)=0,15$; $p=0,86$) ni en la latencia ($F(2,20)=0,19$; $p=0,83$). Además, el componente P200 no fue modificado por la frecuencia, ni en su amplitud ($F(2,20)=0,83$; $p=0,44$) ni en su latencia ($F(2,20)=0,09$; $p=0,92$).

Con respecto a las Expresiones faciales no se observó diferencias entre las expresiones faciales para ninguno de estos componentes, en ninguna de las frecuencias espaciales ni hemisferio de presentación. En el HI, no hubo diferencias significativas relacionadas a la expresión facial para amplitud de N170 ($F(1,10)=0,13$; $p=0,72$) ni para la latencia ($F(1,10)=0,16$; $p=0,69$); la interacción expresión frecuencia tampoco fue significativa, amplitud ($F(2,20)=0,21$; $p=0,81$) y latencia ($F(2,20)=0,23$; $p=0,79$). El componente P200 no presentó diferencias en amplitud ($F(1,10)=0,01$; $p=0,93$) y latencia ($F(1,10)=0,02$; $p=0,9$). La interacción expresión frecuencia tampoco fue significativa, amplitud ($F(2,20)=1,02$; $p=0,37$) y latencia ($F(2,20)=0,29$; $p=0,8$). En el HD, no se observaron diferencias para el N170, amplitud ($F(1,10)=0,06$; $p=0,81$) y latencia ($F(1,10)=1,58$; $p=0,21$), ni para la interacción expresión frecuencia, amplitud ($F(2,20)=0,4$; $p=0,67$) y latencia ($F(2,20)=0,06$; $p=0,94$). El componente P200 tampoco presentó diferencias amplitud ($F(1,10)=1,49$; $p=0,23$) y latencia ($F(1,10)=0,03$; $p=0,86$) y la interacción expresión

frecuencia tampoco fue significativa, amplitud ($F(2,20)=0,14$; $p=0,87$) y latencia ($F(2,20)=1,17$; $p=0,32$).

A continuación se presentan los gráficos que muestran los ERP en la región temporoccipital.

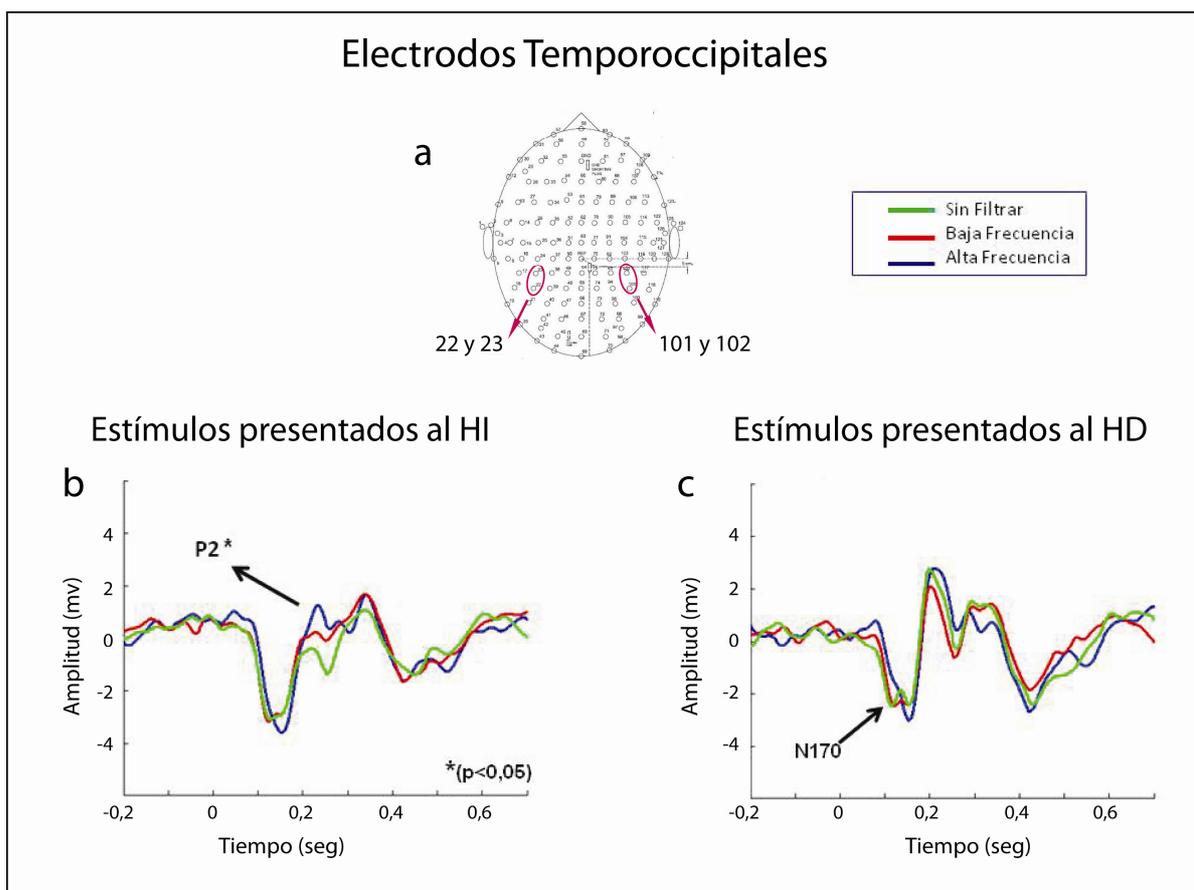


Fig 12 Comparación de los ERP para las condiciones sin filtrar (verde), baja frecuencia (rojo) y alta frecuencia (azul), presentada al Hemisferio izquierdo (izquierda del cuadro) y derecho (derecha del cuadro), entre 200 y 600 ms. (a) Electrodo occipitales 22-23 HD y 101-102 electrodos izquierdos. (b) Comparación de ERP entre las condiciones sin filtrar, baja frecuencia y alta frecuencia de los estímulos presentados al HI en los electrodos izquierdos. (c) Comparación de ERP entre las condiciones sin filtrar, baja frecuencia y alta frecuencia de los estímulos presentados al HD en los electrodos derechos.

6.2.3 Región Frontocentral

Se analizaron los resultados de los electrodos frontocentrales promediando la señal de los electrodos 59 y 60 para los estímulos presentados a ambos hemisferio izquierdo. Los análisis fueron realizados entre 200 ms antes del estímulo y 600 ms posterior al estímulo. Se analizó si los componentes N1 y VPP eran afectados por la frecuencia espacial (Fig 14).

En el HI no se observaron diferencias significativas en la amplitud ($F(2,20)=0,27$; $p=0,796$) o la latencia de N1 ($F(2,20)=1,49$; $p=0,86$). El VPP presentó diferencias significativas en la amplitud ($F(2,20)=5,01$; $p=0,01$), el Post hoc reveló que la amplitud de la señal para las frecuencias altas era significativamente menor que para las imágenes sin filtrar ($p<0,05$). No se observaron diferencias en la latencia ($F(2,20)=1,22$; $p=0,3$) de este componente. En el HD no hubo diferencias entre las distintas condiciones para el componente N1 en amplitud ($F(2,20)=0,04$; $p=0,96$) ni en la latencia ($F(2,20)=2,66$; $p=0,09$). Además, el componente VPP no fue modificado por la frecuencia, en amplitud ($F(2,20)=1,83$; $p=0,17$) ni en latencia ($F(2,20)=1,01$; $p=0,37$).

Con respecto a las Expresiones faciales no se observó diferencias entre las expresiones faciales para ninguno de estos componentes, en ninguna de las frecuencias espaciales ni hemisferio de presentación. En el HI, no hubo diferencias en amplitud de N1: ($F(1,10)=0,0$; $p=0,96$) ni latencia ($F(1,10)=0,71$; $p=0,4$); la interacción expresión frecuencia tampoco fue significativa: amplitud ($F(2,20)=0,32$; $p=0,72$), latencia ($F(2,20)=0,1$; $p=0,9$). El componente P200 tampoco presentó diferencias en amplitud ($F(1,10)=1,05$; $p=0,36$) y latencia ($F(1,10)=0,11$; $p=0,74$). La interacción expresión frecuencia no fue significativa, amplitud ($F(2,20)=0,03$; $p=0,85$) y latencia ($F(2,20)=0,19$; $p=0,83$). En el HD tampoco se observaron diferencias en N1: amplitud ($F(1,10)=0,06$; $p=0,81$) y latencia ($F(1,10)=0,05$; $p=0,82$); la interacción expresión frecuencia no fue significativa, amplitud ($F(2,20)=1,31$; $p=0,28$) y latencia ($F(2,20)=1,32$; $p=0,27$). El componente VPP tampoco presentó diferencias: amplitud

($F(1,10)=1,76$; $p=0,19$) y latencia ($F(1,10)=0,01$; $p=0,91$) y la interacción expresión frecuencia no fue significativa, amplitud ($F(2,20)=0,3$; $p=0,74$) y latencia ($F(2,20)=0,51$; $p=0,6$).

A continuación se presentan los gráficos que muestran los ERP en la región occipital.

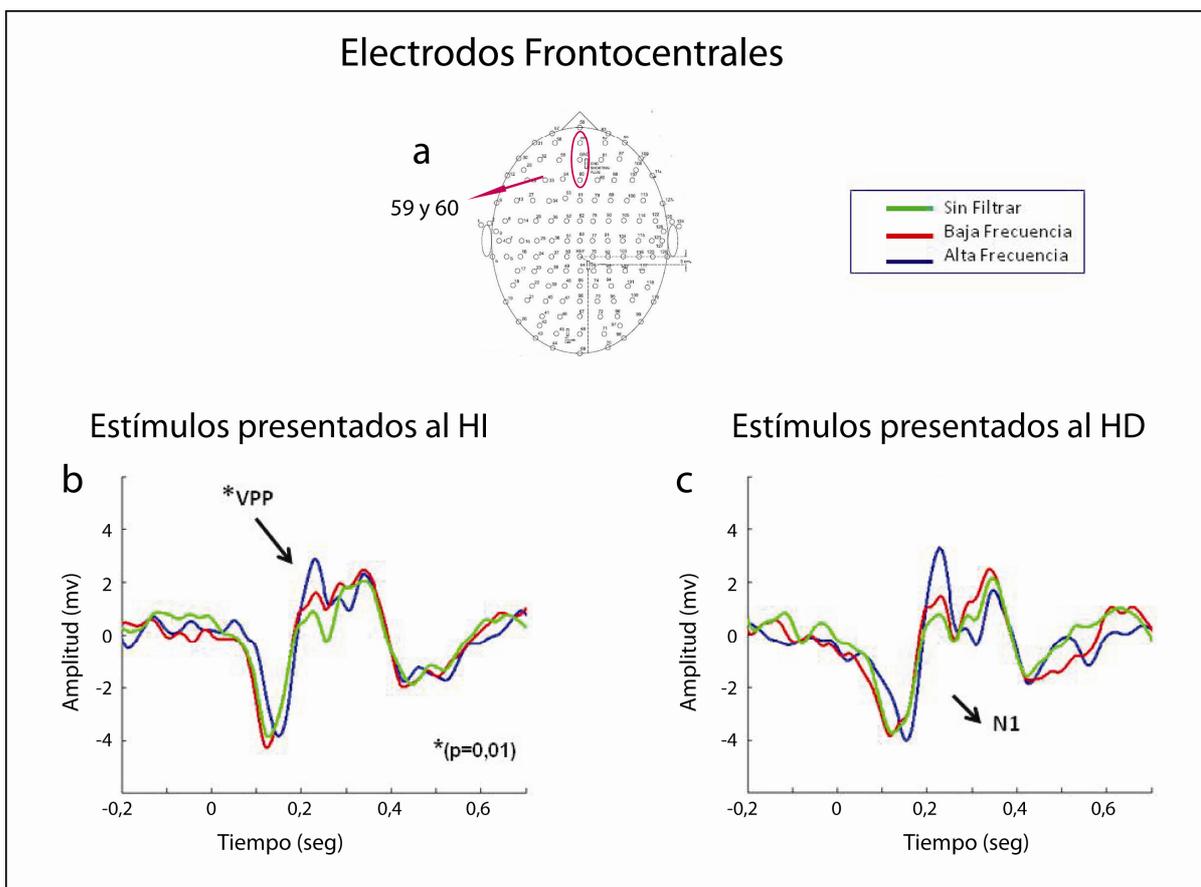


Fig 13 Comparación de los ERP para las condiciones sin filtrar (verde), baja frecuencia (rojo) y alta frecuencia (azul), presentada al Hemisferio izquierdo (izquierda del cuadro) y derecho (derecha del cuadro), entre 200 y 600 ms. (a) Electrodo frontales 59-60 electrodos izquierdos. (b) Comparación de ERP entre las condiciones sin filtrar, baja frecuencia y alta frecuencia de los estímulos presentados al HI en los electrodos izquierdos. (c) Comparación de ERP entre las condiciones sin filtrar, baja frecuencia y alta frecuencia de los estímulos presentados al HD en los electrodos derechos.

7 Discusión

El objetivo de esta tesis fue determinar si existe diferenciación hemisférica en el procesamiento temprano de expresiones faciales de miedo y alegría, asociadas al componente espectral de la imagen. Para esto, se utilizó caras con expresión de miedo y alegría, en diferentes condiciones: sin filtrar y filtradas a baja y alta frecuencia, presentadas diferencialmente, a cada campo visual (hemisferio cerebral). Se analizó los PRC y TR de los sujetos para las diferentes condiciones. Además, se realizó un registro electroencefalográfico para determinar si los componentes que, clásicamente se asocian al procesamiento de caras, son afectados por la frecuencia espacial y el hemisferio de presentación en su amplitud y latencia.

En el estudio se observó que la expresión facial (miedo/alegría) no influyó en el rendimiento de los sujetos, observándose similares TR y PRC para ambas expresiones. En general, los estudios que han comparado los TR en tareas de discriminación de expresiones faciales han encontrado que las respuestas de los sujetos para caras con expresión facial es más rápida que para imágenes con expresión neutra (Eimer, Holmes, & McGlone, 2003; Vlamings, Goffaux, & Kemmer, 2009). En este estudio no se incluyeron imágenes con expresión neutra, debido a que eso o complejizaría la tarea, obligando a los sujetos a elegir entre tres estímulos, lo que interfiere con los TR; o aumentaría el número de estímulos, al presentar un bloque diferente para las caras neutras, haciendo muy cansadora la tarea.

En relación a la diferencia entre emociones, los resultados son variados en determinar si existen diferencias en el rendimiento de los sujetos para reconocer diferentes expresiones. Eimer, Holmes, & McGlone (2003), al igual que en este estudio, no encontraron diferencias en los PRC entre miedo y alegría en una tarea en que debía determinar la presencia o no de emociones (enojo, disgusto, miedo, alegría, tristeza y sorpresa) en imágenes sin filtrar. Sí encontraron diferencias en los TR, observando que las expresiones de alegría se reconocían más rápido que las de miedo. Winston, O' Doherty, & Dolan (2003) también observaron diferencias entre miedo y alegría, en una tarea donde presentaron varias expresiones faciales (disgusto, miedo, alegría, tristeza) en imágenes sin filtrar. Ellos observaron que los

sujetos eran más rápidos para determinar la intensidad de una expresión cuando las caras eran de alegría; en cambio, cuando la expresión facial era de miedo, eran más rápidos para determinar el género de la cara. No obstante, Ashley, Vuilleumier, & Swick (2004) no encontraron diferencias en los rendimientos entre miedo y alegría en una tarea donde los sujetos debían decidir si un estímulo repetido era el mismo o no. Si bien los resultados de alguno de estos estudios apuntan a diferencias en el rendimiento entre las expresiones de miedo y alegría, ninguno de ellos utiliza una tarea en la que directamente se pide discriminar entre ellas, sino más bien se miden indirectamente en otras tareas, lo que puede explicar estas diferencias.

En este estudio no se observaron diferencias en el promedio de rendimiento de los sujetos (PRC y TR) en relación al hemisferio de presentación de las imágenes. Sin embargo, se observó que existían dos grupos que se diferenciaban claramente en sus PRC, ya que un grupo rendía mejor en las imágenes presentadas al HD y el otro a las presentadas al HI. Se encontró que la mayoría de los sujetos presentaba mejores PRC (7/11) cuando los estímulos eran presentados al HD, lo que concuerda con la hipótesis de que el HD es más especializado en el reconocimiento de expresiones faciales. En general, esta hipótesis de lateralización hemisférica en el procesamiento de expresiones faciales aún no está resuelta, existiendo estudios que apoyan la idea de una hipótesis de “valencia específica” en la que se propone que ambos hemisferios participan diferencialmente en el procesamiento (Fusar-Poli et al., 2009). El objetivo principal de esta tesis fue determinar las diferencias en el procesamiento en los hemisferios cerebrales por frecuencia espacial y no por expresión facial. Es por esto que no se presentaron los resultados sobre qué ocurría con los rendimientos para cada expresión dependiendo de la frecuencia y hemisferio de presentación, aunque se observó diferencias en el rendimiento para cada expresión facial, según hemisferio de presentación, lo que apoya la hipótesis de valencia específica que dice que las expresiones positivas se procesan en el HI y las negativas en el HD (Anes & Kruer, 2004; Fusar-Poli et al., 2009).

Con respecto a las frecuencias espaciales, se observó que las imágenes sin filtrar se discriminan mejor que las imágenes filtradas (mejores PRC), tanto a alta como baja frecuencia. Esto no es sorprendente, ya que las imágenes sin filtrar

poseen todo el rango de frecuencias, por lo que son más naturales y fáciles de reconocer. Esto ha sido observado en otros estudios de procesamiento de caras, pero principalmente en tareas de reconocimiento de género, las que pueden incluir o no caras con expresión facial. Pourtois, Dan, Grandjean, Sander, & Vuilleumier (2005) encontraron que los sujetos presentaban mejor PRC para las imágenes sin filtrar (miedo y alegría), al presentar imágenes híbridas de caras, en las que una imagen estaba en alta y otra en baja frecuencia, aunque la tarea fue de decisión de género y no de expresión facial. Resultados similares fueron encontrados por (Vuilleumier, Armony, Driver, & Dolan, 2003b)).

Por otra parte, las frecuencias altas presentaron mayores TR que las sin filtrar. Resultados similares han sido encontrados por Vlamings, Valerie, & Kemner (2009), quienes observaron menores tiempos de reacción al discriminar entre caras de miedo y neutras cuando las caras eran presentadas a baja frecuencia, comparadas con caras presentadas a alta frecuencia. Además, Vuilleumier, Armony, Driver, & Dolan (2003) encontraron que los TR fueron menores para las frecuencias sin filtrar que para las filtradas en caras de miedo y alegría, en una tarea de discriminación de género. Otro estudio realizado por Winston, Vuilleumier, & Dolan (2003), nuevamente en una tarea de reconocimiento de género en imágenes híbridas, observó que, cuando los sujetos elegían el género presentado en alta frecuencia, los TR eran mayores que cuando se elegían el género presentado a bajas frecuencias. Esto concuerda con el hecho que las frecuencias altas presentan un procesamiento más lento, pero entregan información más detallada de las imágenes, por lo tanto, su procesamiento es posterior al de las frecuencias bajas. En relación a lo anterior, esta tesis presenta resultados intermedios, ya que no se observó diferencias entre altas y bajas frecuencias, pero las altas se alejaron significativamente de los TR para las imágenes sin filtrar, las que presentaron los menores tiempos.

El rendimiento (PRC y TR) frente a los estímulos a diferentes frecuencias espaciales no se ve influido por el hemisferio de presentación, a diferencia con lo ocurrido para escenas naturales en las que se ha observado menores TR para las escenas presentadas a alta frecuencia al HI y menores TR para imágenes presentadas a bajas frecuencias al HD (Peyrin, Chauvin, Chokron, & Marendaz,

2003). De acuerdo a estos resultados, no se puede comprobar la hipótesis de que los hemisferios cerebrales contribuyen diferencialmente al procesamiento temprano de las expresiones faciales en relación al componente espectral de la imagen. Sin embargo, tampoco permite descartar la hipótesis, ya que los TR no son lo suficientemente sensibles para rechazar esta posibilidad. Es por esto que se decidió analizar lo que ocurría con la señal eléctrica al presentar imágenes a uno y otro hemisferio cerebral, a través del ERP.

El análisis del EEG se centró en determinar si aquellos componentes tempranos que clásicamente han sido relacionados al procesamiento de caras (P1, N170 y P200) son influenciados por la frecuencia espacial de presentación de las imágenes, y si esta influencia es diferente dependiendo del Hemisferio cerebral de presentación de los estímulos. Al analizar estos resultados se observaron diferencias significativas en las regiones temporoccipital y frontal alrededor de 250 ms post estímulo (P200). No se observaron diferencias significativas entre P1 y N170, que dependieran de la frecuencia espacial en ninguno de los hemisferios. Sin embargo, se observó una interesante diferencia en el componente P1 en occipital para los hemisferios derechos e izquierdo, observándose mayor amplitud para el hemisferio derecho; sin embargo, esta diferencia no fue analizada estadísticamente en esta tesis, por lo que debe ser analizada en el futuro. A continuación se discutirá más específicamente los resultados en relación a los principales componentes afectados por la frecuencia espacial.

Estudios previos han demostrado que P1, en la región occipital, responde fuertemente a la presencia de caras por sobre otros objetos (Itier & Taylor, 2002; Nakashima et al., 2008). En este trabajo, el componente P1 se observó de manera clara solo en los electrodos occipitales, lo que ha sido reportado previamente (Nakashima et al., 2008; Pourtois, Dan, Grandjean, Sander, & Vuilleumier, 2005). Además, este componente fue mucho más claro en los electrodos del HD que los del HI. Sin embargo, no se realizó un análisis estadístico de las diferencias de P1 entre estos los electrodos, ya que no era parte de los procedimientos propuestos para esta tesis.

Además, se observó una mayor amplitud para los estímulos presentados en frecuencias bajas y sin filtrar, comparada con la amplitud para los estímulos en alta frecuencia. No obstante, aunque esta diferencia es clara en la imagen, no fue significativa estadísticamente, lo que podría cambiar si se aumenta el número de sujetos. Este resultado es apoyado por el trabajo de Nakashima et al. (2008), quienes observaron un aumento de la amplitud bilateral de la señal de P1 para las imágenes de caras presentadas a baja frecuencia, comparadas con imágenes a alta frecuencia y sin filtrar. Esto apoya el hecho de que la diferencia observada en P1 no es azarosa y podría hacerse significativa si se aumenta el N de los sujetos. Un resultado algo diferente es el obtenido por Pourtois, Dan, Grandjean, Sander, & Vuilleumier (2005), quienes presentaron imágenes no filtradas e imágenes híbridas de caras con diferente expresión facial y diferente frecuencia espacial, a un grupo de sujetos, los que debían realizar una tarea de discriminación de género. Se observó que P1 era modificado por la frecuencia espacial, siendo mayor la amplitud de este componente en respuesta a los estímulos no filtrados que a los estímulos filtrados (alta y baja frecuencia). En esta tesis los resultados (aunque no significativos) concuerdan con ambos estudios, ya que la amplitud para las frecuencias altas fue menor que para las bajas y sin filtrar.

Una diferencia de esta tesis con los estudios mencionados (Nakashima et al., 2008; Pourtois, Dan, Grandjean, Sander, & Vuilleumier, 2005), aunque tampoco demostrada estadísticamente, es que el componente P1 aparecía bilateralmente en estos estudios y solo en HD en esta investigación. De ser significativa esta lateralización, las diferencias pueden ser explicadas por dos razones. La primera es que dichas investigaciones presentaron imágenes de caras neutras, y esta lateralización puede ser atribuida a las expresiones faciales; la segunda es que en el estudio de Nakashima et al. (2008) las imágenes fueron presentadas al centro de la pantalla, lo que hace que las diferencias hemisféricas muy tempranas no sean evidentes. Pizzagalli, Regard, & Lehmann (1999), entregan información que apoya esta última posibilidad. Ellos presentaron caras de expresiones faciales (aunque sin filtrar), diferencialmente a uno y otro hemisferio, encontrando diferencias en la latencia entre ambos hemisferios para P1. Se observó que había una rápida

respuesta cerebral a los 80 ms, para los estímulos presentados al HD y una respuesta más tardía, 104 ms cuando los estímulos eran presentados al HI, lo que sugiere una diferenciación hemisférica muy temprana en el procesamiento de expresiones. Estos antecedentes entregan evidencia de que existe una lateralización muy temprana en el procesamiento de expresiones faciales hacia el HD, asociadas a la frecuencia espacial baja. Se debe realizar la comparación estadística, para determinar si las diferencias hemisféricas de esta tesis son reales, ya que son un aporte a esta evidencia.

Además, el resultado obtenido por el estudio de Pourtois, Dan, Grandjean, Sander, & Vuilleumier (2005) muestra que P1 es modificado por la expresión facial en baja frecuencia, ya que se observó diferencias en la amplitud de P1 entre expresiones de miedo y caras neutras, solo en las imágenes presentadas a baja frecuencia, lo que relaciona este componente con la detección de esta expresión. Vlamings, Goffaux, & Kemmer (2009) obtuvieron resultados similares, al comparar imágenes de miedo y neutra, sin filtrar y de alta frecuencias (ecualizadas en relación al contraste y la luminosidad). Sin embargo, las diferencias en amplitud (mayor para bajas frecuencias) se presentaron solo en el HD. Esta lateralización hacia P1 en caras con expresión facial también fue observada por Batty & Taylor (2003) aunque en imágenes sin filtrar. En esta tesis no se presentaron imágenes de caras neutras, por lo que sus resultados no permiten concluir si este procesamiento observado es exclusivo de las expresiones o corresponde al procesamiento general de una cara. Sin embargo, se realizó una comparación de este componente para las imágenes de miedo y alegría, sin observar diferencias significativas. Esto puede sugerir que las diferencias en este componente temprano permiten detectar la presencia de una expresión a través de las bajas frecuencias pero no discriminar el tipo de expresión facial.

Con respecto al componente N2 en occipital y N170 en temporoccipital, no se encontraron diferencias, ni en latencia ni en amplitud, para ninguna frecuencia espacial, en ninguno de los hemisferios cerebrales. Tampoco se encontraron diferencias en amplitud o latencia para estos componentes, en ninguna condición de filtro, al comparar el efecto de las expresiones de miedo y alegría, lo que sugiere que

este componente no es afectado por la frecuencia espacial de la imagen y tampoco por la expresión facial. Al respecto, los diferentes estudios realizados no han sido concluyentes en determinar de qué manera este componente es afectado por la frecuencia espacial. Lo que sí se ha observado más claramente es una lateralización de este componente, la que puede ser dependiente de la frecuencia espacial. Nakashima et al. (2008) observaron un aumento de la señal del N2 en el HD, frente a la presencia de caras en cualquier frecuencia espacial y un aumento del N170, también en el HD, pero solo en imágenes de alta frecuencia, en caras neutras, a diferencia de lo que ocurrió en P1, donde la amplitud fue mayor para las frecuencias bajas. Esto va contra la idea de que las frecuencias altas son lateralizadas hacia el hemisferio izquierdo, sin embargo, nuevamente hay que destacar que en este estudio no se presentaron expresiones faciales, si no que caras neutras, lo que puede explicar este resultado. Vlamings, Goffaux, & Kemmer (2009) también encontraron mayor amplitud del componente N170 en el HD comparado con el HI. En esta tesis no se realizó la comparación entre las amplitudes de ambos hemisferios, por lo que no se descarta encontrar diferencias en la amplitud relacionada al hemisferio de presentación de los estímulos, en análisis posteriores. Por otro lado, Pourtois, Dan, Grandjean, Sander, & Vuilleumier (2005) observaron que el componente N170 era eliminado al utilizar las imágenes híbridas filtradas.

En relación a a la respuesta del N170 y las expresiones faciales, los estudios tampoco son concluyentes. Holmes, Winston, & Eimer (2005) encontraron resultados similares a los de esta tesis, ya que en su estudio el N170 no fue modificado por la expresión facial (miedo y neutro) en ninguna frecuencia y tampoco en las imágenes sin filtrar. Pourtois, Dan, Grandjean, Sander, & Vuilleumier (2005) tampoco encontraron diferencias en el N170 relacionadas a la presencia de expresión facial (miedo). Existen otros estudios que han presentado expresiones faciales sin filtrar al centro de la pantalla en los que tampoco se han observado efectos de la expresión facial en el N170 (Ashley, Vuilleumier, & Swick, 2004; Eimer & Holmes, 2002; Holmes, Kiss, & Eimer, 2006; Holmes, Vuilleumier, & Eimer, 2003). No obstante, existen estudios que muestran resultados completamente diferentes: Vlamings, Goffaux, & Kemmer (2009), observaron mayor amplitud de la señal y menor latencia

para las caras de miedo comparadas con las neutras, cuando estas eran presentadas a baja frecuencia. Blau, Maurer, Tottenham, & Mccandliss (2007) también encontraron diferencias en el N170 en imágenes (miedo y neutra) sin filtrar, presentadas al centro de la pantalla. Batty & Taylor (2003) mostraron que caras de miedo, tristeza y disgusto producían un aumento en la amplitud de la señal del N170 al compararlas con las imágenes de sorpresa y alegría. Además, las caras de miedo produjeron mayor activación que todas las otras expresiones en este componente. Esta tesis apoya la idea de que el N170 no se ve afectado por la expresión facial, sin embargo, se debe determinar cuál es el factor que influye en la diferencia entre estos estudios para realizar conclusiones.

. En relación al P200 o PVV (para los electrodos frontocentrales) se observó mayor amplitud para las imágenes en frecuencias altas que para las imágenes sin filtrar, en los electrodos izquierdos, para los estímulos presentados a ese hemisferio. Estas diferencias no han sido estudiadas de manera dirigida, ni reportadas en estudios anteriores. Una interpretación a este aumento de amplitud en el HI, para las frecuencias altas a los 200 ms, es que hay un análisis más detallado de la información realizado por este hemisferio a partir de las altas frecuencias.

En relación a la expresión facial, no se encontraron diferencias significativas entre miedo y alegría en este componente. En otros estudios se ha observado diferencias para el P200 en electrodos frontocentrales, para imágenes sin filtrar, presentadas en el centro de la pantalla. Ashley, Vuilleumier, & Swick (2004) encontraron que en Fz el miedo produjo mayor amplitud en el P200, comparado con alegría. Eimer & Holmes (2002) encontraron un aumento positivo en la región frontocentral, mayor para caras de miedo que para las caras neutras, resultados similares a los reportados en otros estudios (Eimer, Holmes, & McGlone, 2003; Holmes, Vuilleumier, & Eimer, 2003; Holmes, Winston, & Eimer, 2005). En esta tesis no se observaron dichas diferencias, lo que puede deberse a que este componente ha demostrado ser sensible a la atención y a la orientación espacial, observándose que las diferencias disminuyen o desaparecen cuando se pide a los sujetos que atiendan a otro estímulo al mismo tiempo o cuando la imagen de la cara se encuentra fuera de la zona foveal (Eimer, Holmes, & McGlone, 2003; Holmes, Kiss, &

Eimer, 2006; Holmes, Vuilleumier, & Eimer, 2003). Debido a las características de la tarea de esta tesis, los estímulos fueron presentados lateralmente en el campo visual de los sujetos, lo que pudo haber influido sobre este componente.

Todos los antecedentes mencionados, tanto de estudios anteriores, como los de esta tesis, están en directa relación con la hipótesis de que las frecuencias espaciales se procesan diferencialmente en cada hemisferio y que ese procesamiento es más temprano en el HD debido a las características de las bajas frecuencias. Esto permitiría extrapolar que la expresión facial es detectada tempranamente en la región occipital derecha, a partir de las frecuencias bajas (diferencias entre expresión y no expresión observadas a baja frecuencia) y que posteriormente viaja a otras áreas en HI para ser procesada más en detalle a partir de las altas frecuencias. No obstante, es necesario contar con más análisis estadísticos para poder discutir más al respecto.

8 Conclusiones

En la tarea de Discriminación de expresiones faciales se observó que:

- El tipo de expresión facial presentada en la imagen (miedo/alegría) no influyó en el rendimiento de los sujetos. Esto está en desacuerdo con los resultados presentados en la mayoría de los estudios de expresiones faciales, en donde se ven diferencias en el rendimiento entre estas dos expresiones. Sin embargo, ninguno de estos estudios presenta un paradigma similar.
- El hemisferio de presentación no influye en el rendimiento de los sujetos para todas las imágenes presentadas. En esta tesis los resultados estadísticos realizados al total de los sujetos no muestran diferencias significativas en el rendimiento por hemisferio cerebral. Esto está en relación con la hipótesis de que ambos hemisferios participan en el reconocimiento de emociones. Sin embargo, al analizar los datos por tipo de rendimiento de los sujetos, se observa una tendencia a responder mejor cuando las imágenes son presentadas en el HD, lo que está en sintonía con la idea de que sí hay una tendencia a procesar las expresiones faciales en el HD.
- Las imágenes sin filtrar se discriminan mejor que las imágenes filtradas, tanto a alta como baja frecuencia, observándose mejores porcentajes de respuestas correctas. Lo que se atribuye a la característica más natural de estas imágenes. Esto ha sido observado en diferentes estudios, principalmente de discriminación de género, pero también en aquellos de discriminación de expresiones faciales.
- Las frecuencias altas presentan mayores TR que las frecuencias neutras. Esto concuerda con la idea de que las frecuencias altas se procesan más lento que las frecuencias bajas. A diferencia de otros estudios, no se observaron diferencias significativas entre altas y bajas frecuencias, sin embargo, las

frecuencias bajas presentaron menores TR que las altas y no presentaron diferencias con las imágenes sin filtrar, lo que permite diferenciarlas.

- El rendimiento de los sujetos frente a los estímulos a diferentes frecuencias espaciales no se vio influido por el hemisferio de presentación. De acuerdo a estos resultados comportamentales, no se puede comprobar la hipótesis de que las frecuencias espaciales aportan diferencialmente en cada hemisferio cerebral en el procesamiento de expresiones faciales.
- P1 y N170 no fueron afectados por la frecuencia espacial de presentación de las imágenes.
- Ningún componente (P1, N170 o P200) presentó diferencias de latencia o amplitud relacionada a la expresión facial (miedo o alegría), en ninguna frecuencia espacial ni en ninguna región de interés (occipital, temporoccipital y frontal). Esto apunta a que los componentes mencionados no se relacionan con la discriminación de expresiones. Sin embargo, estudios anteriores han mostrado que son afectados por la presencia o no de expresión facial, en tareas en las que se presentan caras neutras y con expresión, tarea que no se realizó en esta tesis. Los resultados de esta tesis, por lo tanto, sugieren que los componentes se relacionan con la detección de una expresión más que con su discriminación.
- Se observaron diferencias significativas en las regiones temporoccipital y frontal en torno a los 250 ms post presentación del estímulo, observándose mayor amplitud en el HI para las frecuencias altas. Esto permite apoyar la hipótesis de que las frecuencias altas se relacionan al procesamiento de la información un poco más tardío, el que probablemente se realiza con la información más detallada de la imagen, y que este procesamiento está a cargo del HI.

9 Referencias

Adolphs, R. (2002). Neural systems for recognizing emotion. *Current Opinion in Neurobiology*, (12), 169-177.

Adolphs, R., Baron-Cohen, S., & Tranel, D. (2002). Impaired Recognition of Social Emotions following Amygdala Damage. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 14(8), 1264-1276.

Adolphs, R., Gosselin, F., Buchanan, T. W., & Tranel, D. (2005). A mechanism for impaired fear recognition after amygdala damage. *Nature*, 433(January). doi: 10.1038/nature03051.

Adolphs, R., Tranel, D., Hanna, D., & Antonio R, D. (1995). Fear and the Human Amygdala. *Journal of Neuroscience*, 15(9), 5879-5891.

Anes, M. D., & Kruer, J. L. (2004). Investigating hemispheric specialization in a novel face – word stroop task q. *Brain and Language*, 89, 136-141. doi: 10.1016/S0093-934X(03)00311-0.

Ashley, V., Vuilleumier, C. A., & Swick, D. (2004). Time course and specificity of event-related potentials to emotional expressions. *Health Care*, 15(1), 211-216. doi: 10.1097/01.wnr.0000091411.19795.f5.

Bar, M., Kassam, K. S., Ghuman, A. S., Boshyan, J., Schmidt, A. M., Dale, A. M., et al. (2006). Top-down facilitation of visual recognition. *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.*, 103, 449-454.

Batty, M., & Taylor, M. J. (2003). Early processing of the six basic facial emotional expressions. *Brain research. Cognitive brain research*, 17(3), 613-20.

Blau, V. C., Maurer, U., Tottenham, N., & Mccandliss, B. D. (2007). The face-specific N170 component is modulated by emotional facial expression. *Behavioral and Brain Functions*, 3(7), 1-13.

Calder, A. J., & Young, A. W. (2005). Understanding the recognition of facial identity and facial expression. *Nature Reviews Neuroscience*, 6, 641-651.

Calder, A. J., Keane, J., Lawrence, A. D., & Manes, F. (2004). Impaired recognition of anger following damage to the ventral striatum. *Brain*, 1958-1969.

Calder, A. J., Keane, J., Manes, F., Antoun, N., & Young, A. W. (2000). Impaired recognition and experience of disgust following brain injury. *Nature Neuroscience*, 3, 1077-1078.

De Gelder, A., Vroomen, J., Pourtois, G., & Weiskrantz, L. (1999). Non-conscious recognition of affect in the absence of striate cortex. *Stimulus*, 10(18), 3759-3763.

Eimer, M., & Holmes, A. (2002). An ERP study on the time course of emotional face processing. *Neuroreport*, 13(4), 427-431.

Eimer, M., Holmes, A., & McGlone, F. (2003). The role of spatial attention in the processing of facial expression: An ERP study of rapid brain responses to six basic emotions. *Cognitive Affective and Behavioral Neuroscience*, 3(2), 97-110.

Ekman, P. (1999). Basic Emotions. In T. Power & T. Dalgleish, *The Handbook of Cognition and Emotion* (pp. 45-60). Sussex, U.K.: John Wiley & Sons, Ltd.

Fairhall, S. L., & Ishai, A. (2007). Effective Connectivity within the Distributed Cortical Network for Face Perception. *Analysis*, (October), 2400-2406.

Fusar-Poli, P., Placentino, a., Carletti, F., Allen, P., Landi, P., Abbamonte, M., et al. (2009). Laterality effect on emotional faces processing: ALE meta-analysis of evidence. *Neuroscience letters*, 452(3), 262-7.

Goffaux, V., Gauthier, I., & Rossion, B. (2003). Spatial scale contribution to early visual differences between face and object processing. *Brain research. Cognitive brain research*, 16(3), 416-24.

Gomez Gonzales, C., Clark, V. P., Fan, S., Luck, S. J., & Hillyard, S. A. (1994). Sources of attention sensitive visual event-related potentials. *Brain Topography*, 7(1), 41-51.

Hamm, A., Weike, A., Schupp, H. T., Treig, T., & Dressel, A. (2003). Affective blindsight : intact fear conditioning to a visual cue in a cortically blind patient. *Brain*, 126.

Haxby, J. V., Hoffman, E. A., & Gobbini, M. I. (2000). The distributed human neural system for face perception. *Trends in Cognitive Sciences*, 4(6), 223-233.

Haxby, J. V., Hoffman, E. A., & Gobbini, M. I. (2002). Human neural systems for face recognition and social communication. *Biological Psychiatry*, 51, 59-67.

Haxby, J. V., Ungerleider, L. G., Clark, V. P., Schouten, J. L., Hoffman, E. A., Martin, A., et al. (1999). The effect of face inversion on activity in human neural systems for face and object perception. *Neuron*, 22, 189-199.

Henson, R. N., Ganel, T., & Otten, L. J. (2003). Electrophysiological and Haemodynamic Correlates of Face Perception , Recognition and Priming. *Cerebral Cortex*, 793-805.

Hoffman, E. A., & Haxby, J. V. (2000). Distinct representations of eye gaze and identity in the distributed human neural system for face perception. *Nature Neuroscience*, 3(1), 80-84.

Holmes, A., Kiss, M., & Eimer, M. (2006). Attention modulates the processing of emotional expression triggered by foveal faces. *Neurosci. Lett.*, 394, 48-52.

Holmes, A., Vuilleumier, P., & Eimer, M. (2003). The processing of emotional facial expression is gated by spatial attention: Evidence from event-related brain potentials. *Cognitive Brain Research*, *16*, 174-184.

Holmes, A., Winston, J. S., & Eimer, M. (2005). The role of spatial frequency information for ERP components sensitive to faces and emotional facial expression. *Cognitive Brain Research*, *25*, 508-520.

Itier, R. J., & Taylor, M. J. (2002). Inversion and contrast polarity reversal affect both encoding and recognition processes of unfamiliar faces: a repetition study using ERPs. *NeuroImage*, *15*, 353-372.

Jacques, C., & Rossion, B. (2004). Concurrent processing reveals competition between visual representations of faces. *Neuroreport*, *15*(15), 2417-2421.

Jacques, C., & Rossion, B. (2006). The speed of individual face categorization. *Psychological science*, *17*(6), 485-92.

Johnson, M. H. (2005). Subcortical Face Processing. *Nature reviews. Neuroscience*, *6*, 766-774.

Kriegeskorte, N., Formisano, E., Sorger, B., & Goebel, R. (2007). Individual faces elicit distinct response patterns in human anterior temporal cortex. *PNAS*, *104*(51), 2600-2605.

Nakashima, T., Kaneko, K., Goto, Y., Abe, T., Mitsudo, T., Ogata, K., et al. (2008). Early ERP components differentially extract facial features : Evidence for spatial frequency-and-contrast detectors. *Neuroscience Research*, *62*, 225-235.

Peyrin, C., Baci, M., Segebarth, C., & Marendaz, C. (2004). Cerebral regions and hemispheric specialization for processing spatial frequencies during natural scene recognition . An event-related fMRI study. *Neuroimage*, *23*, 698 - 707.

Peyrin, C., Chauvin, A., Chokron, S., & Marendaz, C. (2003). Hemispheric specialization for spatial frequency processing in the analysis of natural scenes. *Brain Cognition*, *53*, 278-282.

Pizzagalli, D., Regard, C. A., & Lehmann, D. (1999). Rapid emotional face processing in the human right and left brain hemispheres : an ERP study. *NeuroReport*, *10*(13), 2691-2698.

Pourtois, G., Dan, E. S., Grandjean, D., Sander, D., & Vuilleumier, P. (2005). Enhanced Extrastriate Visual Response to Bandpass Spatial Frequency Filtered Fearful Faces : Time Course and Topographic Evoked-Potentials Mapping. *Human Brain Mapping*, *26*, 65-79.

Schyns, P. G., & Oliva, A. (1999). Dr. Angry and Mr. Smile: When categorization flexibly modifies the perception of faces in rapid visual presentations. *Cognition*, *69*, 243-265.

Sincich, L. C., & Horton, J. C. (2005). The Circuitry of V1 and V2 : Integration of Color , Form , and Motion.

Sumby, W. H., & Pollack, I. (1954). Visual Contribution to Speech Intelligibility in Noise * N many practical work situations , the standard. *America*, 26(2), 212-215.

Surguladze, S. A., Brammer, M. J., Young, A. W., Andrew, C., Travis, M. J., Williams, S. C., et al. (2003). A preferential increase in the extrastriate response to signals of danger. *Neuroimage*, 19(4), 1317-1328.

Vlamings, P., Goffaux, V., & Kemmer, C. (2009). Is the early modulation of brain activity by fearful facial expressions primarily mediated by coarse low spatial frequency information ? *Journal of Vision*, 9(5), 1-13.

Vuilleumier, P., Armony, J. L., Driver, J., & Dolan, R. J. (2001). Effects of Attention and Emotion on Face Processing in the Human Brain : An Event-Related fMRI Study. *Neuron*, 30, 829-841.

Vuilleumier, P., Armony, J. L., Driver, J., & Dolan, R. J. (2003). Distinct spatial frequency sensitivities for processing faces and emotional expressions. *Nature Neuroscience*, 6, 624-631.

Winston, J. S., Henson, R. N., & Dolan, R. J. (2004). fMRI-Adaptation Reveals Dissociable Neural Representations of Identity and Expression in Face Perception. *Journal of Neurophysiology*, 1830-1839.

Winston, J. S., Henson, R. N., Fine-Goulden, M., & Dolan, R. J. (2008). fMRI-Adaptation Reveals Dissociable Neural Representations of Identity and Expression in Face Perception. *Journal of Neurophysiology*, 92, 1830-1839.

Winston, J. S., Vuilleumier, P., & Dolan, R. J. (2003). Effects of low-spatial frequency components of fearful faces on fusiform cortex activity. *Current Biology*, 13(20), 1824-1829.

Winston, J., O' Doherty, J., & Dolan, R. (2003). Common and distinct neural responses during direct and incidental processing of multiple facial emotions. *NeuroImage*, 20(1), 84-97.