

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE  
MÉXICO**

**PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN PSICOLOGÍA  
NEUROCIENCIAS DE LA CONDUCTA**

**ANÁLISIS ELECTROENCEFALOGRÁFICO ENTRE  
ESTÍMULOS VISUALES DE CARAS NORMALES Y  
MODIFICADAS**

**T E S I S**

**PARA OBTENER EL GRADO DE  
DOCTOR EN PSICOLOGÍA**

**P R E S E N T A**

**JORGE RICARDO GERSENOWIES RODRÍGUEZ**

**JURADO DE EXAMEN DE GRADO**

**DIRECTORA: DRA. ERZSEBET MAROSI HOLCZBERGER  
COMITÉ: DR. MARIO ARTURO RODRÍGUEZ CAMACHO  
DRA. CARMEN SELENE CANSINO ORTIZ  
DRA. IRMA YOLANDA DEL RÍO PORTILLA  
DR. JORGE BERNAL HERNÁNDEZ**



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

*Sólo aquellos que se arriesgan a ir demasiado lejos  
tienen posibilidad de averiguar cuán lejos puede ir uno.*

*T. S. Eliot*

*Dedico esta tesis a  
La memoria de mis padres  
Mateo Simón, Bertha María, Quirino y Colombia.*

*A mi familia  
Ángeles, esposa, amiga e inigualable compañera  
Jorge, Carlos y Lev mis hijos, lo mejor de mi vida.  
Simón, Rubén y Silvia, mis hermanos.  
Sharday, Irene, Sandra, Rubén y Sofía, mis adorables sobrinos.*

## AGRADECIMIENTOS

*A mi esposa e hijos, por su apoyo incondicional en la elaboración de este trabajo y los momentos maravillosos que día a día vivo con ellos.*

*A la Dra. Erzsebet Marosi Holczberger mi directora de tesis, por su constante apoyo y guía durante la elaboración del presente trabajo, llevándolo a un feliz término.*

*Al Dr. Mario Rodríguez Camacho por su gran ayuda en el proceso de escritura del presente trabajo.*

*Al Dr. Sergio Chazaro Olvera, por su apoyo para llevar a cabo mis estudios de Doctorado.*

*Al Dr. Ignacio Peñalosa Castro, por su apoyo para iniciar mis estudios de Doctorado.*

*A mis tutores, Dra. Erzsebet Marosi Holczberger, Dr. Mario Rodríguez Camacho, Dra. Carmen Selene Cansino Ortiz, Dra. Irma Yolanda del Río Portilla, Dr. Jorge Bernal, Dra. Ma. Guillermina Yañez y Dra. María Asunción Corsi Cabrera, por sus valiosa guía, enseñanzas y apoyo.*

*A la FES Iztacala UNAM, mi alma mater, por todo el bien que me ha dado en estos 33 años que he sido parte de ella.*

*Los Reyes Iztacala, Noviembre de 2009*

# Índice

	Páginas
Resumen	1
Abstract	2
I.-Introducción	3
II.- Modelos sobre la percepción visual de caras.	6
II.1.- Información contenida en las caras.	6
II.2.- Mecanismos de procesamiento de caras en adultos.	6
II.2.1.- Hipótesis holística.	6
II.2.2.- Hipótesis del esquema.	9
II.2.3.- Hipótesis de la sensibilidad a la configuración.	9
II.2.4.- Hipótesis del componente configuracional.	10
II.2.5.- Hipótesis integradora del reconocimiento de la cara.	12
III.- Neuroanatomía y Neurofisiología de la percepción visual de caras.	15
III.1.- Especialización hemisférica.	15
III.2.- Diferencia funcional hemisférica.	16
III.3.- Aspectos neuroanatómicos del reconocimiento de caras.	17
III.4.- Neuronas que responden selectivamente a caras.	19
III.5.- Estudios recientes con resonancia magnética funcional (fMRI).	22
IV.- Estudio electroencefalográfico de la percepción de caras con la modificación de Thatcher (Thatcherized face).	23
IV.1.- Generales.	23
IV.2.- Estudios electroencefalográficos.	23
IV.3.- Medidas espectrales del electroencefalograma.	30
IV.4.- Estudios sobre la actividad electroencefalográfica del procesamiento caras.	34
V.- Planteamiento del problema.	37
VI.- Objetivos específicos.	39
VII.- Hipótesis.	40

	Páginas
VIII.- Método.	41
VIII.1.- Sujetos.	41
VIII. 2.- Diseño de los estímulos.	42
VIII.3.- Procedimiento.	42
VIII. 4.- Registro del EEG.	44
VIII. 5.- Edición y análisis del EEG.	45
VIII. 6.- Datos conductuales.	46
VIII. 7.- Análisis estadístico.	46
VIII. 7.1.- Análisis de normalidad.	46
VIII. 7.2.- Análisis de las medidas espectrales del EEG.	46
VIII. 7.3.- Análisis de los tiempos de reacción.	46
IX.- Resultados y discusión.	47
IX.1.- Análisis conductual.	47
IX.1.1.- Resultado de la prueba de “t” pareada para los TR.	47
IX.1.2.- Discusión de los resultados del análisis conductual.	47
IX.2.- Potencia absoluta.	47
IX.2.1.- Resultado del análisis de varianzas de medidas repetidas.	47
IX.2.2.- Resultado de la determinación de las diferencias mínimas significativas de Fisher (L. S. D.).	48
IX.2.3.- Discusión de los resultados de las potencias absolutas.	52
IX.3.- Potencia relativa.	58
IX.3.1.- Resultado del análisis de varianzas de medidas repetidas.	58
IX.3.2.- Resultado de la determinación de las diferencias mínimas significativas (L. S. D.).	58
IX.3.3.- Discusión de los resultados de las potencias relativas.	66

	Páginas
IX.4.- Relación de potencias.	69
IX.4.1.- Resultado del análisis de varianzas de medidas repetidas.	69
IX.4.2.- Resultado de la determinación de las diferencias mínimas significativas (L. S. D.).	69
IX.4.3- Discusión de los resultados de la relación de potencias.	72
IX.5- Comentario final.	73
X.- Conclusión.	74
XI.- Bibliografía.	75

## Resumen

Las imágenes de caras humanas con la modificación Thatcher han demostrado ser un estímulo adecuado para el estudio del procesamiento neuronal de caras, utilizando métodos como la resonancia magnética funcional (fMRI) y los potenciales relacionados con eventos (PREs). Es poco entendible que no existan estudios que usen medidas espectrales del EEG para estudiar los mecanismos cerebrales relacionados con codificación de caras normales y modificadas. El objetivo del presente estudio fue determinar las diferencias y el mapa topográfico de las medidas espectrales del EEG entre caras normales y modificadas. En este estudio participaron 32 jóvenes sanos ( $23.4 \pm 2.99$  años) del sexo masculino, alumnos de la UNAM. Los estímulos fueron 100 caras normales y 100 modificadas presentadas al azar que permanecieron en la pantalla durante 2000 ms. También se capturó un registro de línea base con duración de 5 minutos. Posteriormente se llevó a cabo el análisis espectral de las tres condiciones: línea base, caras normales y caras modificadas. Se obtuvieron las medidas de potencia absoluta, potencia relativa y relación de potencias. Los datos fueron analizados con un rm-ANOVA trifactorial considerando condición, bandas y derivaciones. Se usó como prueba post hoc la LSD de Fisher. Los resultados mostraron las siguientes diferencias significativas: a) un incremento en la banda delta tanto en la potencia absoluta como relativa en todas las regiones y un incremento de la actividad beta frontal cuando se compararon los registros de caras (normal y modificada) contra la línea base; b) una reducción generalizada en la banda alfa tanto en la potencia absoluta como relativa cuando se compararon ambos tipos de caras contra la línea base; c) un incremento bilateral en ambas medidas en la banda delta en las regiones frontales y parieto-temporal izquierda cuando se compararon caras modificadas contra normales; d) un incremento de la actividad delta en la región frontal en el hemisferio izquierdo al comparar caras contra la línea base. En conclusión, en la codificación de caras se observa un incremento de la actividad delta relacionado con la atención requerida para el procesamiento de caras, independientemente de que sean normales o modificadas. También un incremento de la actividad delta en la región temporo-parietal izquierda, asociado con la detección de la modificación de caras que se relacionaría con el análisis por componentes de éstas.

## Abstract

Human faces with Thatcher's modification have proven to be an adequate way of stimulation when studying cerebral mechanism involved in faces. Neuroimage methods (fMRI) and event related potentials (ERP) are frequently applied in experiments trying to find neural correlates related to normal and modified human faces; it is hard to understand why studies using spectral measurements of qEEG are so rare. The objective of this study was to determine differences in spectral measurements and topographic maps of EEG between normal and modified faces. Thirty-two healthy university students, all males, (mean age  $23.4 \pm 2.99$  years) participated in this experiment. The stimulus consisted of 100 normal and 100 modified faces presented randomly on the monitor, during 2000 ms with a previous base line recording of 5 minutes. Spectral analyses of the three conditions were carried out (base line, normal and modified faces) obtaining absolute power, relative power values and power ratios. The data were analyzed with a three way rm-ANOVA, with condition, bands and derivations as factors. LSD of Fisher was used as Post Hoc test. The obtained results showed the following significant differences: a) an increase in both absolute and relative power in the delta band all over the entire scalp and an increase in frontal beta when base line recording were compared with faces presentation; b) a decrease in both absolute and relative alpha power at all leads when base line and face presentation were compared; c) bilateral increase in absolute and relative delta power at frontal and parietal-temporal leads, when normal faces and modified ones were compared; d) higher delta amplitudes at left frontal areas when comparing base line recording against face presentation. Concluding these results face codification is associated to an increase in delta activity, probable, due to the attention necessary for face processing, independently if these were normal or modified faces. We also obtained higher and more delta activity at left temporal-parietal region, related to the detection of a face abnormality that suggests that face is codified by the brain according to its components.

## **I.- Introducción**

Es conocido que el procesamiento de caras en humanos adultos es el producto tanto de mecanismos innatos, como de la experiencia. No hay ninguna duda que el procesamiento de la cara es una habilidad humana en que la mayoría de los adultos son expertos. Así, los adultos pueden reconocer caras familiares con una exactitud del 90 % o más, incluso cuando no se hayan visto durante cincuenta años. Las caras son un estímulo que fortalecen un tipo especial de categorización (sexo, edad, raza, etc.), en donde el nivel del objeto nombrado refleja el procesamiento del reconocimiento facial, cuando a los humanos se les pide nombrar las características al presentarles espontáneamente fotos de caras, producen los nombres concretos de las personas mostradas (ejemplo, hombre, joven, caucásico, etc.) (Schwaninger et al., 2003).

La especialización en el procesamiento de caras, no sólo puede ser reconocida por la frecuencia de clasificaciones a nivel subordinado sino también por la velocidad de generación de términos de descripción facial. De esta forma, los adultos identifican las caras tan rápido al nivel subordinado (nombre de la persona) como al nivel básico (por ejemplo, “humano”) (Tanaka, 2001a).

De esta forma el procesamiento neuronal de la información facial tiene gran importancia en las relaciones interindividuales. La cara como estímulo visual caracteriza la identidad de una persona y refleja la comunicación de distintos estados de ánimo y emociones (Ekman, 1992).

Desde un punto de vista ontogenético, se debe subrayar la preferencia visual del recién nacido por el rostro humano en comparación con otros estímulos. También es conocido que desde los primeros días de vida, el niño es capaz de imitar y discriminar los movimientos faciales de un adulto (Serrano et al., 1995), y que, alrededor de los cinco primeros meses, muestra reconocer el rostro de las personas más allegadas (Fagan, 1976). Desde una perspectiva neurofisiológica, estos datos nos permiten suponer la existencia de mecanismos neuronales especializados en el procesamiento de caras. Esto nos lleva a considerar que datos provenientes de distintas áreas de investigación neurofisiológica pueden dar evidencia de la existencia de circuitos neuronales que responden selectivamente a caras en relación con otras categorías de estímulos visuales.



Figura 1.- Cara normal y con la modificación Thatcher (thatcherized face) (tomado de Bruyer, 1988)

Una de las estrategias para analizar los mecanismos neuronales especializados en el procesamiento de caras es el estudio de las ilusiones. En 1980 Peter Thompson publicó un estudio sobre la “ilusión de Thatcher”, el cual se volvió uno de los artículos más frecuentemente citados en los trabajos publicados en la revista “Perception” (Thompson, 1980; Anstis, 2005). Esta “ilusión de Thatcher” es una demostración de la sensibilidad natural del cerebro a la orientación para el procesamiento de las caras, y consiste en una fotografía de Margaret Thatcher a la cual se le giraron los ojos y la boca dentro del contexto facial produciendo una expresión grotesca (Figura 1) (Schwaninger et al., 2003).

Si bien somos expertos en reconocer las caras derechas, nuestras habilidades fallan cuando las caras están invertidas (presentadas al revés). Se cree que este fracaso es debido a la disrupción del procesamiento configuracional, que Thompson consiguió al modificar un retrato de Margaret Thatcher para que se produjera una apariencia grotesca (figura 1). Sin embargo, cuando una cara normal y una cara con la modificación Thatcher (llamada *thatcherized face*) son invertidas, las diferencias perceptuales entre ellas desaparecen, por lo que ambas caras parecen bastante normales (figura 2).

La notable “ilusión de Thatcher” sugiere que la descodificación de la expresión facial parece trabajar mejor en la misma orientación en que se ven las caras la mayor parte del tiempo, siendo los ojos y la boca elementos de importancia central en la configuración, al estar las caras modificadas invertidas, estos elementos adquieren su posición normal, hecho que lleva a la ilusión de percibir las caras modificadas como normales.

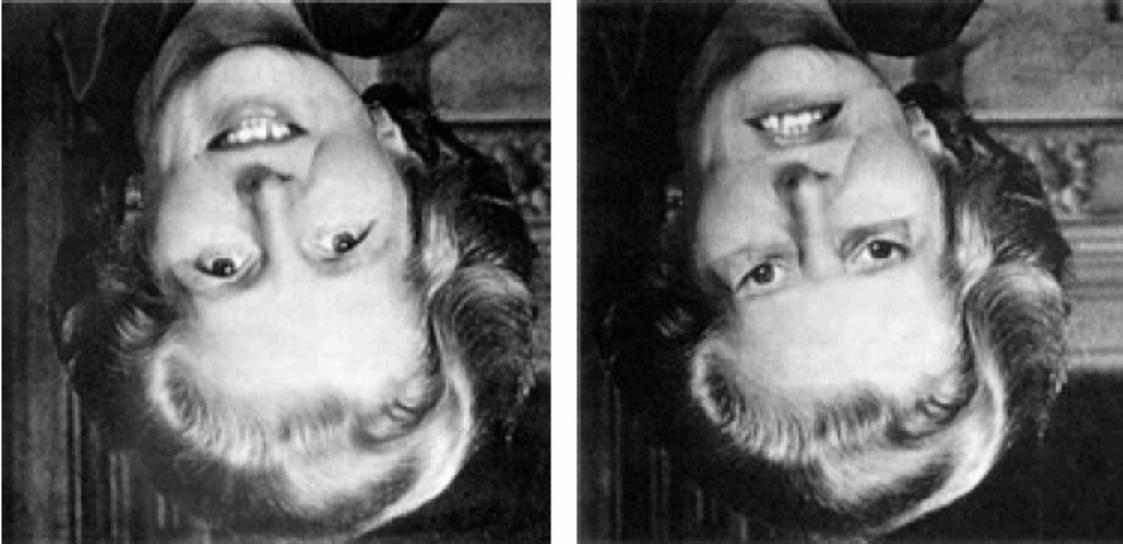


Figura 2.- Cara normal y con la modificación Thatcher invertidas. Se observa que desaparece el efecto grotesco (tomado de Bruyer, 1988).

## **II.- Modelos sobre la percepción visual de caras.**

### **II.1.- Información contenida en las caras**

Las caras son superficies tridimensionales complejas del lado frontal de la cabeza humana. Poseen dos fuentes de información: el componente y la configuración (Schwaninger et al., 2003).

El término *componente* de información (o información componencial, o rasgos) ha sido usado para referirse a elementos locales individuales, los cuales son percibidos como partes distintas del todo, como son los ojos, boca, nariz o barbilla (Sergent, 1984). Los componentes describen los elementos básicos de las caras, y el número de dimensiones en que todos los componentes pueden diferir proporcionando la base para que todas las caras humanas sean únicas. Un segundo tipo de información ha sido referida como *configuracional* o *relacional*. El término información configuracional se refiere a “las interrelaciones espaciales de los rasgos faciales” (Schwaninger et al., 2003), es decir, los arreglos espaciales, como la distancia entre ojos, distancias nariz-boca, distancia ceja-ceja, etc.

El término “holístico” se ha usado para describir las representaciones que guarda una cara, como una percepción única, sin especificar explícitamente las partes. Ha sido operacionalizado completamente y se refiere a las propiedades y rasgos que tiene la cara cuando se procesa como un todo y no a través del análisis de sus componentes (Farah et al., 1995).

Estos diferentes tipos de información contenidos en las caras están relacionados con diferentes hipótesis acerca del procesamiento de las caras por los adultos.

### **II.2.- Mecanismos de procesamiento de caras en adultos**

Para explicar los mecanismos utilizados en el procesamiento de caras por los adultos, se han propuesto cuatro hipótesis:

La hipótesis holística

La hipótesis del esquema

La hipótesis de la sensibilidad a la configuración

Hipótesis integradora (Schwaninger, et al., 2003)

**II.2.1.- Hipótesis holística:** Según la hipótesis holística, los adultos procesan las caras como percepciones completas únicas. Esta hipótesis asume que la habilidad del procesamiento de las caras mejora a lo largo de muchos años y se logra a expensas de la flexibilidad. Esta especialización se relaciona con la alta sensibilidad de los adultos a la

información configuracional. Debido a que las caras usualmente se ven derechas, no es sorprendente que esa orientación sea una variable crítica para un sistema de procesamiento que se desarrolla con la experiencia. Según esta hipótesis, el procesamiento de la información configuracional es más afectado por los cambios de orientación que por el procesamiento de la información de los componentes (Schwaninger et al., 2003).

Varios resultados empíricos han sido interpretados a favor de esta hipótesis. Por ejemplo, Tanaka y Farah (1993) razonaron que si el reconocimiento de caras descansaba en las representaciones analizadas, entonces un componente (por ejemplo, la nariz) presentado en aislamiento debería reconocerse fácilmente. En contraste, si las caras se representan como percepciones únicas (es decir, holísticamente) entonces una parte de la cara presentada en aislamiento debería ser mucho más difícil de reconocer. En sus experimentos, los participantes se entrenaron para reconocer caras derechas, cada una de las cuales tenía un par diferente de ojos, nariz, y boca. En la fase de prueba, se presentaron imágenes de caras en pares. Cada par de caras difería solamente en la forma de una parte de la cara. En una condición de prueba, se presentaron dos porciones faciales en aislamiento. Los sujetos tenían que juzgar cual de las dos porciones pertenecía a una cara familiar de la fase de entrenamiento. En la condición de la cara completa, las porciones eran incluidas en el contexto facial. Por ejemplo, una cara contenía la nariz original y otra contenía una nariz diferente. Los participantes tenían que juzgar si estaban familiarizados con la cara de la fase de entrenamiento. Las porciones presentadas en aislamiento fueron más difíciles de identificar que las caras completas. En contraste, cuando los participantes se entrenaron para reconocer caras invertidas, caras borrosas, y caras, no se encontró ninguna ventaja de presentar las porciones en su contexto. Los autores interpretaron este resultado a favor de la hipótesis holística y propusieron que el reconocimiento de caras descansa principalmente en las representaciones holísticas, mientras el reconocimiento de objetos está basado más en representaciones de las partes.

En un estudio posterior Tanaka y Sengco (1997) proporcionaron un amplio apoyo a la hipótesis holística, aunque su concepto de holístico es ligeramente diferente. En lugar de asumir que las caras se procesan como una percepción única completa, los autores consideraron que si se combinan tanto los componentes como la información configuracional en una representación holística, los cambios en la información configuracional deben afectar el reconocimiento de porciones faciales (información del

componente). Esto fue precisamente lo que encontraron en su primer experimento: Después de entrenar con las caras que se presentaban derechas, los sujetos reconocieron los componentes (ojos, nariz y boca) mejor en un contexto facial inalterado que en un contexto en donde la información configuracional se había cambiado manipulando la distancia entre los ojos. Si el procesamiento holístico es entorpecido por la inversión y si en el reconocimiento de la cara cuentan más las representaciones holísticas que el reconocimiento del objeto, entonces una manipulación configuracional similar no debía tener efecto en el reconocimiento de partes de caras invertidas u objetos como las casas. Los autores mostraron que las manipulaciones configuracionales no afectaron el reconocimiento de porciones aisladas cuando se presentaron las caras puestas de lado, ni cuando se usaron las casas derechas en el entrenamiento y condiciones de prueba. Para las caras, la alteración de la información configuracional fue cumplida incrementando la distancia entre los ojos, y para las casas manipulando la distancia entre las ventanas. Así, alterando la información configuracional sólo se afectó el reconocimiento de los componentes en el caso de caras que se presentaban derechas. Este hallazgo favorece la hipótesis de que en caras normales (presentadas en orientación derechas) el procesamiento de los componentes y la información configuracional están en una combinación de representación holística y que su procesamiento holístico se altera por la inversión.

Otra línea de investigación ha sido llevada por Rhodes y sus colaboradores (1993). Ellos utilizaron versiones de baja resolución de fotografías digitalizadas de caras completas en un paradigma de memoria de reconocimiento. Las alteraciones en la configuración que se introdujeron fueron variar el espacio intraocular y de la boca, estos cambios fueron más difíciles de reconocer cuando las caras estaban invertidas. Rhodes y sus colaboradores (1993) concluyeron que los cambios del componente afectaron la información configuracional, pero el procesamiento de los componentes individuales fue poco afectado por la inversión.

Los resultados de Tanaka y Sengco (1997) y los de Rhodes y sus colaboradores (1993) son consistentes con la hipótesis que considera que el procesamiento de los componentes e información configuracional de caras normales (derechas) se combina en una sola representación holística de la cara y que este procesamiento es afectado por la inversión. Esto implicaría que los componentes y la información configuracional son codificados primero separadamente y luego integrados en una representación holística.

**II.2.2 Hipótesis del esquema:** Según Goldstein y Chance (1980) la habilidad para procesar las caras mejora con la exposición a ellas. Por consiguiente, debido a que normalmente se ven las caras en orientación derecha, las subsiguientes ejecuciones de reconocimiento deben mejorar con la edad, pero la ejecución ante estímulos inusuales como caras invertidas no mejoran. Sus predicciones son apoyadas por estudios que investigaron el desarrollo del reconocimiento de caras (Schwaninger et al., 2003). Un ejemplo de esta posición es el estudio de Diamond y Carey (1986) con perfiles de caras y perros como estímulos. Ellos encontraron que la ejecución de los principiantes era afectada por la inversión cuando probaron con caras humanas, pero no cuando tuvieron que reconocer los perfiles de perros. En contraste, había un efecto de inversión en los expertos en perros (perros mostrados a jueces y criadores con un promedio de 31 años de experiencia) el reconocimiento de los perfiles de los perros fue comparable al efecto observado de la inversión en el reconocimiento de caras humanas. En un estudio posterior realizado por Tanaka (2001b) se encontró el mismo resultado, cuando se mostró a expertos en aves y perros, fotos de aves y perros respectivamente. Así, la hipótesis del esquema, considera que ante la exposición continua de un objeto se produce un esquema específico sensible a la orientación.

**II.2.3.- Hipótesis de la sensibilidad a la configuración:** Esta considera que el reconocimiento de la cara por el adulto se caracteriza por una alta sensibilidad a la información configuracional. Por ejemplo, Haig (1984) encontró que para caras poco familiares las alteraciones configuracionales producidas por cambios en la distancia entre los rasgos faciales, se detectan a veces a nivel del umbral de la agudeza visual. Kemp y sus colaboradores (1990) utilizando imágenes en dos tonos encontraron que la alta sensibilidad a la información configuracional está reducida en imágenes negativas o invertidas. Mientras que Bruce y sus colaboradores (1991) encontraron una especialización del procesamiento de la información configuracional a nivel de la memoria. Esto ocurrió cuando probaron, en un estudio donde los participantes tenían que decidir si las caras y las casas eran idénticas a las presentadas en un bloque anterior o si habían sido alteradas en su configuración. Aunque las alteraciones eran más pequeñas para las caras que para las casas, los participantes fueron más sensibles para detectarlas, sin embargo este efecto disminuyó cuando los estímulos se presentaban invertidos. Los autores concluyeron que la confianza en la configuración es esencial para la especialización del procesamiento de caras derechas en los adultos.

El descubrimiento de que las caras invertidas son desproporcionadamente más difíciles de reconocer que otros objetos invertidos, ha sido llamado el *efecto de inversión de cara*. Una demostración de la sensibilidad natural a la orientación del procesamiento de la cara proviene de un estudio llevado a cabo por Thompson (Anstis, 2005) mencionado en la introducción (figuras 1 y 2).

Invirtiendo los ojos dentro del contexto facial, hace que se perciba cambios en la relación espacial de las porciones (figura 3) (Bartlett y Searcy, 1993).

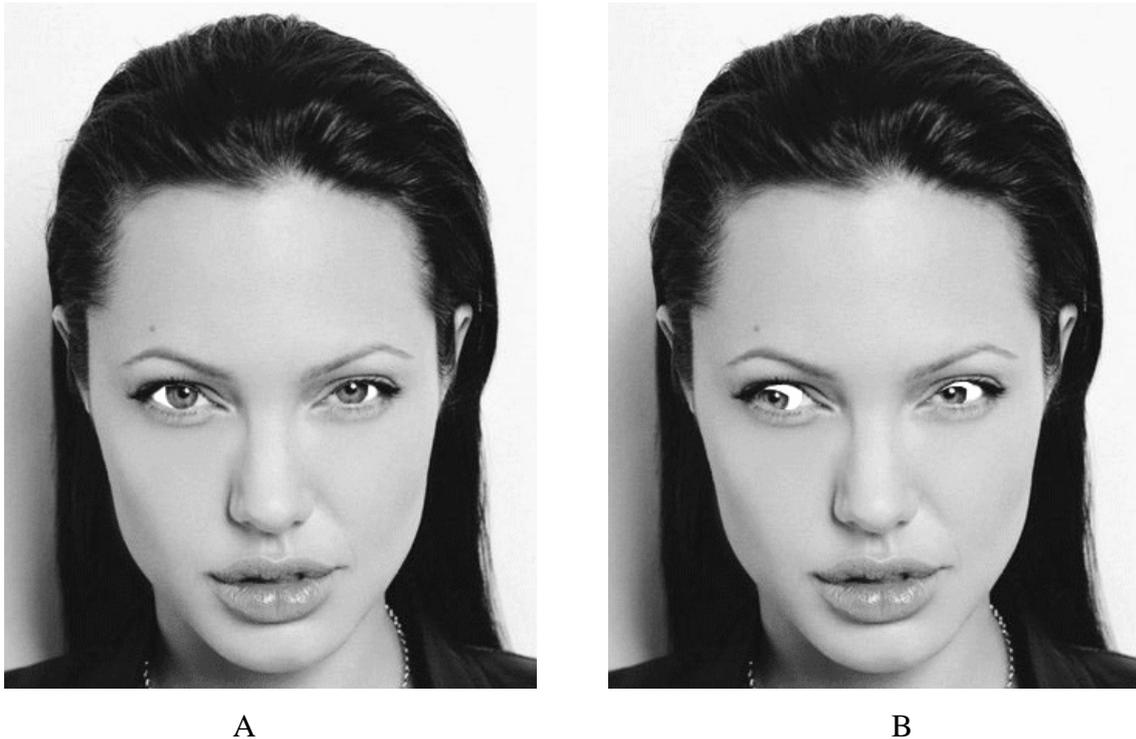


Figura 3.- Efecto del cambio de posición de los ojos. A.- cara normal. B.- cara con ojos modificados.

**II.2.4 Hipótesis del componente configuracional:** Según esta hipótesis, el componente y la información configuracional se procesan separadamente, y el procesamiento configuracional es mucho más afectado por los cambios de orientación que el procesamiento de los componentes. Hay una gran cantidad de evidencias a favor de esta hipótesis. La primera demostración de un efecto diferencial de la inversión en el procesamiento del componente y de la información configuracional, fueron proporcionadas por Sergent (1984), quien presentó caras en las que los ojos o el contorno facial (cambio en la información del componente) o el espacio interior del componente (cambio en la información configuracional) fueron diferenciadas. Una técnica de escalamiento multidimensional para el análisis de juicios de desigualdad, y el

análisis de regresión sobre los tiempos de reacción revelaron que se utiliza tanto la información del componente como la configuracional de las caras presentadas con orientación derecha. En contraste, no había ninguna evidencia de que el sujeto utilizara la información configuracional cuando las caras estaban invertidas. Debe señalarse, sin embargo, que Sergent (1984) utilizó esquemas de caras que pueden hacer difícil la generalización de sus resultados para el procesamiento de caras reales. Sin embargo, resultados similares fueron obtenidos por Searcy y Bartlett (1996), quienes utilizaron fotografías a colores de caras en donde los cambios configuracionales habían sido producidos moviendo los ojos e invirtiendo la boca, y la manipulación de la información del componente se había logrado cambiando el color de las pupilas y dientes, o acortando y alargando los dientes.

Otra demostración del efecto diferencial de la orientación en el procesamiento del componente y de la información configuracional fue proporcionada por Schwaninger y Mast (1999), quienes utilizaron una tarea de emparejamiento secuencial semejante-diferente y encontraron que la detección de cambios en el componente (ojos y boca reemplazados) era relativamente invariable a rotaciones en el plano. En contraste, la rotación tenía un efecto perjudicial en la detección de cambios configuracionales que eran inducidos aumentando la distancia entre los ojos, y entre los ojos y la boca. Resulta interesante que el efecto de la rotación en el procesamiento configuracional era no lineal; la mayoría de los errores fueron encontrados en ángulos intermedios de rotación entre las orientaciones derechas e invertidas, es decir, a  $90^\circ$  y  $120^\circ$ . De forma semejante, Murray y sus colaboradores (2000) encontraron una discontinuidad en la función que relaciona lo grotesco con una rotación entre  $90^\circ$  y  $120^\circ$  encontrada para caras con la modificación Thatcher, y caras en donde los cambios configuracionales eran inducidos cambiando la posición relativa de los ojos y boca. Las evaluaciones del rango de lo grotesco en caras inalteradas o caras con componentes distorsionados (dientes teñidos de negro y ojos blanqueados) sólo mostraron una tendencia lineal.

Por ejemplo, reemplazar la nariz (cambio del componente) puede cambiar la distancia entre los contornos de la nariz y la boca y así alterar la información configuracional (Leder y Bruce, 2000). Lo mismo se aplica a cambios configuracionales cuando se llevan a cabo alterando la posición relativa de los componentes. Por ejemplo, aumentar la distancia entre los ojos (cambio configuracional) puede llevar a un aumento en el tamaño del puente de la nariz, es decir, un cambio del componente (Leder et al., 2001).

**II.2.5.- Hipótesis integradora del reconocimiento de caras:** El reconocimiento cotidiano de objetos es a menudo una cuestión de diferenciar entre clases de objetos bastante heterogéneos que difieren con respecto a su forma global, partes y otros rasgos distintivos tales como el color o la textura. En contraste, el reconocimiento de caras descansa en la discriminación de ejemplares de una misma categoría homogénea. Todas las caras comparten las mismas porciones básicas en el mismo arreglo básico. En cada cara los ojos están arriba de la nariz que se localiza sobre la boca. Por consiguiente, el reconocimiento preciso de la cara se basa en el descubrimiento de rasgos sutiles y diferencias configuracionales que necesita años de aprendizaje. Debido a que normalmente se ven las caras en forma vertical, este aprendizaje se restringe a dicha orientación. Los objetos que normalmente se perciben con una orientación específica dependen de dicha orientación para ser percibidos. Así, los efectos de rotación e inversión son mucho más notables para las caras que para el reconocimiento de objeto de un nivel básico. Según ciertos autores, el reconocimiento experto de caras se caracteriza por el procesamiento holístico (Schwaninger et al., 2003). Farah y sus colaboradores (1995) responden a la pregunta ¿por qué el reconocimiento de caras es sensible a la orientación? afirmando: “la percepción de la cara es holística y la percepción de patrones complejos representados holísticamente es sensible a la orientación”. Las caras giradas demasiado exigen un mecanismo de normalización de la orientación que hace imposible el emparejamiento con las representaciones derechas guardadas en la memoria. Las caras giradas sólo pueden ser procesadas por sus componentes y la información configuracional es difícil de recuperar. Esto explicaría por qué el efecto de rotación es muy pequeño para el componente y opuesto a los cambios configuracionales (Schwaninger y Mast, 1999). Al mismo tiempo, estos resultados desafían una posición completamente holística del procesamiento de caras asumiendo que las representaciones explícitas de las porciones faciales no existen. Los recientes resultados de Schwaninger y sus colaboradores (2002) mostraron que los componentes y la información configuracional facial se codifican y almacenan explícitamente, ambos en el reconocimiento de caras familiares y no familiares, cuando las caras están derechas.

Para integrar las diferentes hipótesis, Schwaninger y sus colaboradores (2003) proponen el modelo que esquematizamos en la figura 4. Todas las características de una cara están contenidas en la representación de la entrada sensorial la cual presumiblemente se correlaciona con la activación de las áreas visuales primarias. Basadas en años de

especialización, las redes neuronales de la vía visual ventral extraen activamente información específica de los componentes y representaciones configuracionales. Las salidas de estas representaciones convergen hacia las mismas unidades de identificación. Estas unidades son holísticas en el sentido que integran información de componentes y configuracional. De acuerdo a este modelo, el procesamiento holístico implica que estos dos tipos de información primero son codificados separadamente y luego integrados en una representación holística. Esta posición integradora holística es consistente con los resultados de Tanaka y Sengco (1997) y Rhodes y sus colaboradores (1993) que implica que en el procesamiento de caras normales (derecha), la información del componente y configuracional se combinan en una sola representación holística de la cara.

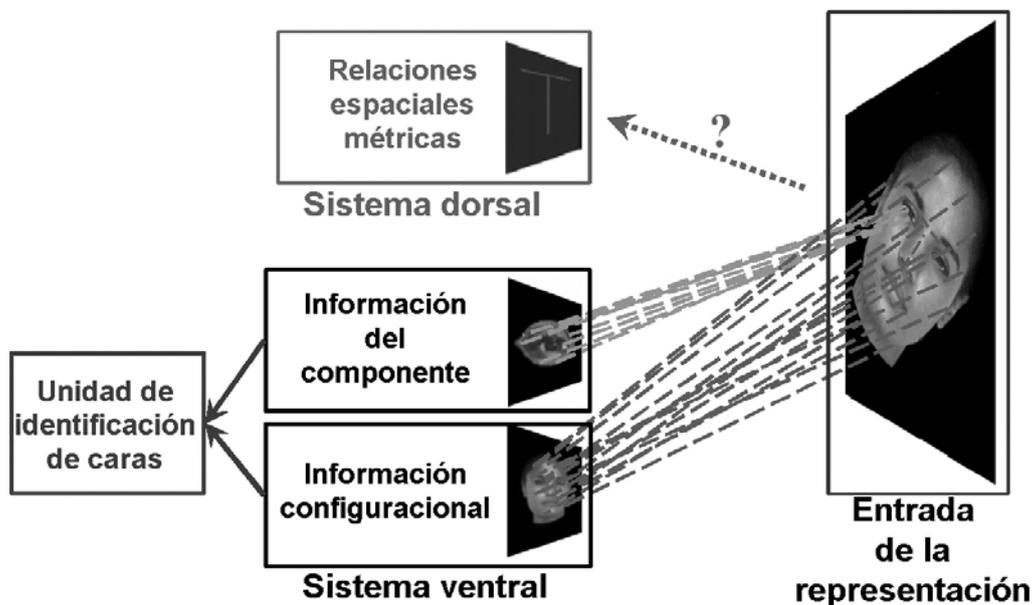


Figura 4.- Modelo integrativo del procesamiento de la cara. La información facial es codificada en una representación de entrada métrica que contiene todos los rasgos que percibimos en las caras. Se extrae la información de rasgos locales y de las relaciones entre ellos para activar información del componente y configuracional en la vía ventral. Las salidas de estas representaciones convergen hacia las mismas unidades de identificación de caras. Debe ser investigado si el procesamiento dorsal es relevante para el procesamiento de las relaciones métricas espaciales de las caras como ojo-boca o distancia interocular (Schwaninger et al., 2003).

El reconocimiento de la cara por el adulto se caracteriza por el procesamiento de la información configuracional y por el hecho de que las caras son bastante difíciles de reconocer cuando se giran substancialmente de la posición derecha. En el modelo, esto puede explicarse de la manera siguiente: Cuando se giran las caras, la información de sus características en la entrada sensorial cambia notablemente. Como consecuencia, el componente y las representaciones configuracionales que han sido aprendidas con base en la exposición a caras derechas, no puede activarse lo suficiente para permitir el reconocimiento fiable (Schwaninger et al., 2003).

Este modelo ofrece una explicación para la ilusión Thatcher. La inversión de los ojos y la boca en una cara derecha, da por resultado una activación extraña en el patrón de los componentes y representaciones configuracionales (Schwaninger et al., 2003). Por consiguiente, la cara parece muy rara. Cuando una cara con la modificación Thatcher se invierte, la activación de la representación configuracional se afecta bastante debido a la capacidad limitada de un mecanismo de normalización de la orientación. Por consiguiente, el patrón de activación extraño está reducido y la percepción rara desaparece. De este modo, una cara con la modificación Thatcher invertida parece relativamente normal (Schwaninger et al., 2003).

La hipótesis integradora del reconocimiento de caras, permite la integración de las hipótesis configuracional, de componente y de aspectos holísticos del procesamiento de caras. Explica efectos perceptuales, como la ilusión Thatcher. Aun más, proporciona una base integradora para la comprensión de las características especiales del reconocimiento de caras por los adultos como una especialización en caras derechas y una gran sensibilidad a la información configuracional (Schwaninger et al., 2003).

### **III.- Neuroanatomía y Neurofisiología de la percepción visual de caras.**

**III.1.- Especialización hemisférica:** Una especialización del hemisferio derecho para el procesamiento de caras ha sido propuesta por algunos autores que realizaron estudios en pacientes con padecimientos neuropsicológicos. La presencia simultánea de defectos perceptivos (cuadranopsias y hemianopsias) en el hemicampo visual izquierdo y los trastornos en el reconocimiento de caras ha sido uno de los datos considerados para plantear que las regiones posteriores del hemisferio derecho podrían desempeñar un papel exclusivo en el reconocimiento de caras (Damasio y Damasio, 1986). De acuerdo con este supuesto, las lesiones unilaterales del hemisferio derecho deberían ser suficientes para provocar la aparición de estos trastornos, lo cual se ha corroborado mediante estudios radiológicos de pacientes con distintos tipos de prosopagnosia (interrupción selectiva de la percepción de rostros, tanto el propio como el de los demás) (Takabashi et al., 1995).

Sin embargo, los datos que aportan los estudios anatómicos post mortem de pacientes con prosopagnosia, así como los estudios realizados con estos enfermos con las técnicas de neuroimagen (tomografía por rayos X, resonancia magnética nuclear y tomografía por emisión de positrones) ofrecen evidencias de que la prosopagnosia es causada por lesiones bilaterales. En consecuencia, la unilateralidad derecha asumida en los pacientes prosopagnósicos en un primer momento, ha sido rechazada posteriormente por varios autores gracias a la utilización de técnicas más finas que han permitido descubrir una segunda lesión en el hemisferio izquierdo (Clarke et al., 1997). Damasio y sus colaboradores (1982) por ejemplo, presentaron tres casos de prosopagnosia y varios estudios post mortem de pacientes prosopagnósicos con lesiones bilaterales que no sólo estaban situadas en zonas homólogas, sino que además eran más extensas en el hemisferio izquierdo.

La presencia de una segunda lesión en el hemisferio izquierdo en la prosopagnosia persistente es analizada por Ettlín y sus colaboradores (1992), quienes describieron un paciente que adquirió la prosopagnosia después de haber sufrido un tercer accidente neurovascular que afectó las regiones parieto-occipitales izquierdas. Anteriormente, el paciente había sufrido dos accidentes neurovasculares que le dañaron extensas zonas del hemisferio derecho, entre ellas, casi todo el lóbulo occipital y la porción postero-medial del lóbulo temporal, que no le impidieron el reconocimiento de caras familiares, aunque

sí le produjeron los síntomas típicos de las lesiones del hemisferio derecho como la aparición de defectos en el hemicampo visual contralateral (Ettlin et al., 1992).

La hipótesis de la bilateralidad concuerda con el hecho de que los casos de prosopagnosia son muy infrecuentes. Si este trastorno fuera debido a lesiones unilaterales, al ser éstas más frecuentes, sería mayor el número de pacientes prosopagnósicos reportados (Meadows, 1974).

**III.2.- Diferencia funcional hemisférica:** La especialización funcional hemisférica se ha estudiado en términos del “tipo de estrategia” que caracteriza la ejecución de cada hemisferio cerebral en el reconocimiento visual (Damasio et al., 1982). En un estudio pionero realizado por Levy y sus colaboradores (1972) en pacientes comisurotomizados, proponen que cada hemisferio posee su propia estrategia de procesamiento de la información, de manera que si un hemisferio puede llegar a ser dominante en una determinada tarea bajo ciertas condiciones, no va a depender de la naturaleza del estímulo, sino más bien del tipo de estrategia que pueda ser más eficaz en ese caso. Si el hemisferio izquierdo se caracteriza por utilizar estrategias más analíticas, relacionadas con el procesamiento de rasgos o componentes distintivos de los estímulos, y el derecho está especializado en el procesamiento de tipo configuracional u holístico, puede explicarse -la mayoría de las veces- la participación privilegiada del hemisferio derecho en el procesamiento de caras, ya que se sabe que los rostros familiares son estímulos cuya percepción es favorecida por el reconocimiento de una determinada configuración (Olivares et al., 1999).

De forma semejante, Damasio y sus colaboradores (1982) consideran que los mecanismos específicos que intervienen en el reconocimiento de caras en cada hemisferio difieren en que las unidades de memoria que caracterizan el patrón mnésico de una cara se encuentran definidas por rasgos diferentes de la cara en el hemisferio izquierdo y, por aspectos configuracionales en el hemisferio derecho. En cuanto a los mecanismos particulares del hemisferio izquierdo para el reconocimiento de caras, dichas unidades de memoria pueden relacionarse, además, con la información verbal correspondiente a cada cara, lo cual también contribuye a diferenciar el proceso de reconocimiento de caras en cada hemisferio (Olivares e Iglesias, 2000).

Así, Sergent (1988) haciendo especial hincapié en aspectos metodológicos de la evaluación neuropsicológica, considera que la supuesta ventaja del hemisferio derecho en el procesamiento de caras puede deberse, en su mayor parte, a la utilización de tiempos de presentación muy breves y estímulos altamente complejos. Este hecho puede

obstaculizar el alto nivel de resolución visual que sería necesario para favorecer un procesamiento de tipo analítico por parte del hemisferio izquierdo. Adicionalmente, esta autora subraya que el procesamiento analítico de las caras parece relacionarse con una secuencia de exploración de la cara de “arriba hacia abajo”, por lo que la información referente a los rasgos superiores de la cara (pelo y ojos) se procesa, cuando se proyectan presentaciones taquitoscópicas por hemicampos visuales, más eficientemente por el hemisferio izquierdo.

Utilizando también presentaciones taquitoscópicas en hemicampos visuales, Young y sus colaboradores (1987) encontraron una superioridad del hemicampo visual izquierdo (hemisferio derecho) en la identificación de rasgos faciales internos o externos y de la cara completa. Esta ventaja del hemisferio derecho desapareció cuando los estímulos se presentaron invertidos, es decir, cuando se perdieron las propiedades configuracionales de la cara, perjudicando el procesamiento de tipo holístico (Young et al., 1987).

En congruencia con las ideas expresadas en los párrafos anteriores, Rhodes (1985) plantea la especialización hemisférica en el reconocimiento de caras de acuerdo con un modelo por etapas, cada una de las cuales podría estar lateralizada de manera independiente. Según este modelo, el procesamiento visuoespacial temprano (codificación y utilización de información acerca de las relaciones espaciales entre y dentro de los estímulos, o de la relación que guarda un estímulo con algún marco de referencia) podría llevarse a cabo más eficazmente por el hemisferio derecho, igual que la creación y comparación subsiguiente de representaciones faciales. El hemisferio izquierdo estaría especialmente adaptado en las comparaciones basadas en rasgos discretos de las caras. Asimismo, la utilización de información semántica, que incluye nombres asociados a las caras y que, según Rhodes, ocurre en etapas más tardías del procesamiento visual, se realizaría más eficazmente por parte del hemisferio izquierdo.

**III.3.- Aspectos neuroanatómicos del reconocimiento de caras:** Los estudios neuropsicológicos han descrito con bastante precisión las regiones cerebrales lesionadas que aparecen regularmente acompañando a la prosopagnosia (Damasio et al., 1999). Así, a partir del análisis sistemático de la topografía de las lesiones cerebrales de pacientes con y sin prosopagnosia, Damasio y sus colaboradores (1999) han identificado las regiones cerebrales que parecen ser más importantes como soporte neuronal del procesamiento de caras (Figura 5). Estos autores delimitan las zonas afectadas según el tipo de prosopagnosia que presenta cada paciente.

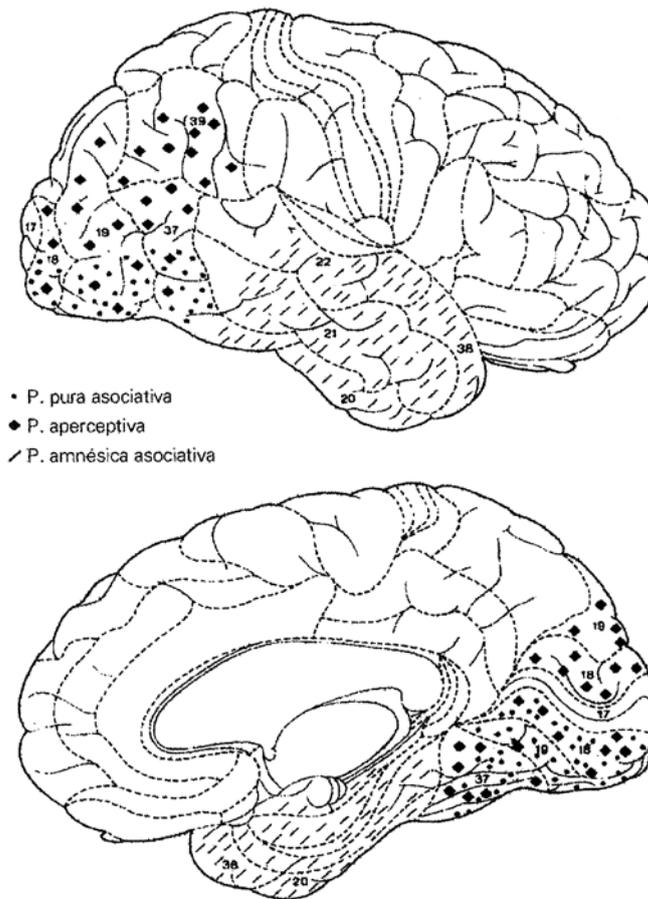


Figura 5.- Áreas cerebrales que aparecen afectadas en los distintos tipos de prosopagnosia y que probablemente constituyen el soporte neuronal del procesamiento de caras (Damasio et al., 1999).

De acuerdo con Damasio y sus colaboradores (1999), la prosopagnosia “pura asociativa”, se caracteriza porque el paciente no reconoce las caras, ya que las percibe como carentes de significado y tiene que valerse de otros indicios como la voz para identificarlas. Este padecimiento es causado por un daño bilateral en las cortezas asociativas visuales inferiores occipitales y temporales (áreas 18 y 19 de Brodmann en su parte inferior y parte del área 37). En cambio, la prosopagnosia llamada “aperceptiva”, que es propia del paciente que, además de la dificultad para reconocer caras, padece un déficit grave de integración visual (es incapaz de generar la imagen de un todo a partir de sus partes) se asocia fundamentalmente con daño en las cortezas asociativas visuales derechas dentro de las regiones parietales y occipitales (áreas 18 y 19, partes mediales y laterales, y parte de las áreas 39 y 37). Áreas de los giros lingual,

fusiforme y parahipocampal parecen comúnmente afectadas en ambos tipos de prosopagnosia.

La prosopagnosia “amnésica asociativa”, en la que el paciente es incapaz de reconocer la identidad de la cara ni siquiera por medio de la voz y muestra, además, déficit en la utilización de otros indicios contextuales para identificarlas, es también -según estos autores- causada por un daño bilateral, pero en regiones temporales anteriores, es decir, en estructuras límbicas (amígdala, corteza entorrinal e hipocampo) y áreas paralímbicas y corticales aledañas (áreas 38, 20, 21 y 22) (Damasio et al., 1999).

Ambos hemisferios (Damasio et al., 1999) están implicados en el procesamiento de caras, aunque no contribuyen de igual manera, pues las cortezas visuales derechas tienen una ventaja bien definida en este proceso. Estas conclusiones habían sido anteriormente corroboradas por el propio Damasio (1992) en un estudio de pacientes con daño selectivo en diferentes cortezas asociativas, en el que se relacionaron el foco de la lesión y las categorías de los estímulos (naturales, contruidos por el hombre, etc.), cuyo reconocimiento se afectó en función del área cerebral lesionada.

**III.4.- Neuronas que responden selectivamente a caras:** Los datos que permiten un mayor grado de precisión en la determinación de las bases neuronales del procesamiento de caras son los provenientes del registro intracraneal de la actividad neuronal en primates no humanos. En este tipo de estudios se pone un énfasis especial en la delimitación de las áreas intrahemisféricas concretas que se destacan por su capacidad de respuesta selectiva ante caras. Así, mediante la implantación de electrodos de registro profundo en la corteza temporal de macacos [cuatro *Macaca fascicularis* y un *Macaca mulatta*], específicamente en el banco dorsal y fondo de la parte anterior del surco temporal superior, Bruce y sus colaboradores (1981) describieron una zona a la que llamaron “área polisensorial temporal superior” y en la que encontraron un pequeño grupo (30%) de células que respondían selectivamente a determinados estímulos visuales. De este grupo de células, algunas unidades respondían concretamente a caras de congéneres y de humanos y no lo hacían ante otros estímulos presentados como fueron barras, puntos luminosos, ejes u otros más complejos como manos. Los autores sugirieron que estas últimas células eran más sensibles a la información configuracional que a rasgos aislados porque:

1. Respondían a una variedad de caras (reales, en diapositivas y fotografías) que diferían en tamaño, color y movimiento.

2. Al ocultar los ojos en las fotografías, la respuesta disminuía, pero no se eliminaba.
3. Al colocar los rasgos de manera caótica la respuesta sí se eliminaba.
4. Se encontró otro grupo de células cuya actividad parecía depender de algunos rasgos específicos de la cara como los ojos o el pelo, o también de otros estímulos visuales complejos además de la cara.

Perret y sus colaboradores (1982) realizaron registros de actividad unitaria en el fondo del surco temporal superior de tres macacos (*Macaco rhesus*), en una región que los autores consideraron que podría ser parte del área polisensorial temporal superior, descrita previamente por Bruce y sus colaboradores (1981). En este caso se encontró una agrupación de neuronas que, a diferencia de las descritas por Bruce y sus colaboradores (1981), no eran polisensoriales (no respondían a estímulos auditivos ni táctiles). Estas neuronas tenían su mayor frecuencia de descarga ante la estimulación visual con caras y partes de la cara, la cual era de 2 a 10 veces mayor que ante otros estímulos visuales simples y complejos. La magnitud de esta respuesta se mantenía constante, a pesar de las diferentes transformaciones realizadas en las caras presentadas, como fueron la rotación (horizontal o invertida) o el cambio de color, tamaño o distancia. Para muchas de las neuronas registradas, la respuesta dada ante caras con una configuración normal y presentada de frente fue significativamente mayor que las dadas ante caras con los rasgos desordenados o vistas de perfil. El enmascaramiento de determinados rasgos de la cara redujo también notablemente la respuesta en un determinado número de neuronas y no en otro. Asimismo, la presencia de rasgos aislados o de subconjuntos de rasgos fue suficiente para provocar la máxima respuesta en otro número de células estudiadas.

A partir de estos resultados, Perret y sus colaboradores (1982) concluyeron que la agrupación de neuronas registradas representaba parte de un sistema especializado en codificar caras o rasgos presentes en ellas y que, posiblemente, las lesiones en esta zona eran las responsables de la prosopagnosia y de otras alteraciones relacionadas con el reconocimiento de caras en humanos y primates no humanos. Para estos autores, las amplias conexiones de las neuronas del fondo del surco temporal superior con la corteza temporal inferior (de la cual recibe aferencias y donde también se han encontrado neuronas que responden a caras, como se verá más adelante), y con la amígdala y las cortezas parietal y frontal (a las cuales envía eferencias), evidencian que estas neuronas

podrían hacer llegar la información necesaria a los sistemas cerebrales responsables de la identificación de caras y de las respuestas emocionales y sociales asociadas a ellas.

Aunque las neuronas encontradas por Perret y sus colaboradores (1982) se encontraban principalmente en el hemisferio izquierdo, los propios autores aclaran que el muestreo del registro estaba sesgado hacia este hemisferio, de modo que la posibilidad de una asimetría no pudo establecerse ni excluirse.

Sobre la posible relación de las neuronas selectivas a caras encontradas en la corteza temporal de primates no humanos y el reconocimiento de caras en el hombre, Gross (1992) ha planteado la existencia de daños en el tejido cortical al que pertenecen dichas células en la prosopagnosia. Aunque las lesiones que aparecen en pacientes prosopagnósicos se encuentran usualmente en regiones occipitotemporales ventromediales, este autor sugiere que un daño en dichas regiones podría interrumpir las vías de conexión de las neuronas selectivas a caras (en la corteza temporal) con otras regiones blanco como la corteza límbica, y causar consecuentemente el déficit de reconocimiento.

La profundización en el estudio de las neuronas selectivas a caras en primates no humanos ha permitido también ofrecer una respuesta plausible a la causa de la disociación de diferentes trastornos relacionados con el procesamiento de caras (Roll, 1992). El hecho de que algunos individuos presenten problemas en la identificación de caras familiares y sean, no obstante, capaces de reconocer diferentes expresiones emocionales, a diferencia de otros que muestran un patrón inverso de comportamiento, puede estar basado en daños selectivos en diferentes áreas corticales relacionadas específicamente con el procesamiento de la identidad y de la expresión emocional. Hasselmo y sus colaboradores (1989a) estudiaron estas posibles áreas en primates no humanos (*Macaca mulatta* y *Macaca fascicularis*) e identificaron el giro temporal inferior con la zona donde se sitúan fundamentalmente las neuronas responsables de codificar la identidad, y el surco temporal superior con la zona de mayor concentración de células que responden a las expresiones emocionales. La proximidad de estas últimas neuronas a las células que responden al movimiento en el área polisensorial temporal superior (Bruce et al., 1981) puede reflejar la importancia de los aspectos dinámicos de la expresión facial (Hasselmo et al., 1989a).

Por último, el hecho de que algunos pacientes muestren dificultades en el reconocimiento de caras no familiares presentadas con diferentes, e inusuales, orientaciones o condiciones de iluminación, o en hacer corresponder partes de una cara

con la cara completa, podría interpretarse como el reflejo de una dificultad general para traducir representaciones de diferentes planos del objeto percibido, en este caso la cara, como una representación general del mismo (Hasselmo, 1989b). Estos pacientes podrían presentar lesiones situadas en áreas del cerebro humano correspondientes a la corteza temporal de los primates no humanos, donde se han descrito grupos de neuronas que responden a determinados planos de la cara percibida y grupos de neuronas que responden con independencia del ángulo visual del observador y cuya respuesta se basa en coordenadas centradas en el objeto (Toveé et al., 1994). La coincidencia de ambos tipos de células en esta zona es consistente con la hipótesis de que en dicha zona podría tener lugar la etapa -en la jerarquía del sistema visual- en la que se construyen las representaciones prototípicas de los objetos percibidos.

**III.5.- Estudios recientes con resonancia magnética funcional (fMRI):** Los estudios con resonancia magnética funcional han llegado a sugerir la existencia de una red con distribución cortical en la cual se activan múltiples áreas (corteza temporal anterior y frontal) en el procesamiento de la cara en humanos (Haxby et al., 2000; Ishai, 2008), teniendo su centro en la corteza temporo-occipital ventral (Barton, 2003; Rossion et al., 2003; Pitcher et al., 2007). Gran parte de los estudios recientes se han realizado en individuos que padecen prosopagnosia congénita (Bentin et al., 1999; Duchaine et al., 2004; Behrmann et al., 2005; Dobel et al., 2007) quienes presentan una activación normal en la corteza temporo-occipital ventral (Avidan et al., 2005; Bentin et al., 2007). Recientemente se ha descubierto que este padecimiento es debido a una reducción en la integridad estructural de los tractos que conectan a la corteza temporo-occipital ventral con las cortezas temporal anterior y frontal (Thomas et al., 2009). De ahí que el deterioro en la prosopagnosia congénita no surge de un daño en las áreas de la corteza temporo-occipital ventral sino de una falla en su comunicación con las cortezas temporal anterior y frontal. En un estudio reciente Avidan y Behrmann (2009) utilizaron el paradigma de adaptación con fMRI. Compararon caras famosas y desconocidas, encontrando que los individuos con prosopagnosia congénita tienen un efecto de adaptación normal en la corteza temporo-occipital ventral, indicando la existencia de sensibilidad a la identificación facial, pero no mostraron ninguna activación diferencial al comparar caras familiares contra caras desconocidas en otras áreas corticales, en particular en precuneus, corteza cingulada posterior y corteza paracingulada anterior.

## **IV.- El estudio electrofisiológico del procesamiento de caras con la modificación Thatcher (Thatcherized face)**

**IV.1.- Generales:** Si bien una demostración obligada de la importancia de la información configuracional para el procesamiento de caras proviene de la ilusión Thatcher (Boutsen et al., 2006), los estudios realizados son principalmente conductuales (Bartlett y Searcy, 1993; Rhodes et al., 1993; Murray et al., 2000; Boutsen y Humphreys, 2003). Sobre este tema, hay que hacer notar que se han realizado pocos estudios electrofisiológicos, la mayoría con potenciales relacionados con eventos (PREs), mientras que no se han reportado estudios de las medidas espectrales del EEG, de ahí la importancia del presente estudio, debido a que los PREs se pueden considerar como cambios en la actividad cerebral producidos como respuesta a un estímulo (Harmony, 1984; Muñoz y Jiménez, 2001), mientras que las medidas espectrales del EEG involucran la actividad de grandes poblaciones de neuronas corticales que participan en el procesamiento de la información sensorial o de alguna actividad cognitiva. (Llinás, 1988; Lopes da Silva, 1996; McCormick, 1992; Steriade, et al., 1990). Debido a que los datos más cercanos a los estudios electroencefalográficos provienen de los PREs, de ellos se hablará principalmente en las secciones siguientes.

**IV.2.- Estudios electroencefalográficos:** En la última década, la evidencia conductual para los distintos modos del procesamiento de caras se ha complementado por evidencias provenientes de estudios de neuroimagen y electrofisiológicos. De relevancia particular son las investigaciones con los PREs, en particular de los componentes P100 (P1), N170, P200 (P2) medidos sobre la parte posterior de la cabeza. Estos componentes pueden estar modulados en latencia y/o amplitud, por distintas variables relacionadas con la percepción de caras como los cambios de orientación, de la cara completa o una porción, e inversión de contraste (negativo-positivo) (Bentin et al., 1996; Bötzel et al., 1995; Eimer, 1998, 2000 a, b; Itier y Taylor, 2002, 2004 a, b). En particular, el componente N170 (una deflexión negativa que alcanza la máxima amplitud a los 150-200 ms post-estímulo en electrodos ubicados en posición temporo-occipital) se ha interpretado como un correlato del procesamiento neuronal de caras. El N170 es mayor en amplitud a caras que a los objetos y su latencia y/o amplitud se incrementa por la inversión de la cara (Bentin et al., 1996), imágenes escurridas (George et al., 1996), caras o porciones semejantes a caras (Bentin et al., 2002), y a cambios en el contexto de la cara (Eimer, 1998). Al mismo tiempo, el N170 no es afectado por factores no

perceptuales (Eimer, 2000a). Estos resultados sugieren que la N170 refleja la codificación perceptual temprana de la cara y que su sensibilidad a la inversión refleja un cambio en el procesamiento como resultado de la ruptura de la información configuracional (Itier y Taylor, 2002). Además, la inversión de la cara también puede modular a los componentes que se presentan antes (P1) y después (P2) de N170 (Itier y Taylor, 2002). No se cree que ambos componentes positivos sean específicos del procesamiento de caras, dado que su amplitud máxima es similar ante estímulos de caras y de no caras (Rossion et al., 2003). Estas observaciones de los PREs también han sido complementadas por estudios de imagen con resonancia magnética funcional (fMRI) que demostraron el efecto de inversión de la cara en la respuesta hemodinámica de las regiones temporo-occipitales (Aguirre et al., 1999; Haxby et al., 1999).

Debido a sus dramáticos efectos perceptuales dependientes de la orientación, la ilusión Thatcher de la cara es una manipulación utilizada para el estudio de los correlatos neuronales del procesamiento configuracional de la cara. Si el componente N170 refleja el procesamiento perceptual de la información configuracional de las caras, entonces uno esperaría que N170 estuviera influenciado por la modificación Thatcher más para caras derechas que para caras invertidas, dado que en el último caso la información configuracional está menos disponible. A continuación se presentan cinco estudios electroencefalográficos de los correlatos neuronales del procesamiento perceptual de caras hechos con caras con la modificación Thatcher.

Rotshtein y sus colaboradores (2001) utilizaron resonancia magnética funcional (fMRI) para investigar si los atributos emocionales actúan recíprocamente con las propiedades sensoriales y perceptuales de estímulos faciales, en 16 sujetos sanos (10 mujeres) de entre 23 y 49 años. Para evitar la confusión de atributos emocionales con alteraciones del rasgo facial, ellos utilizaron caras acromáticas, 40 normales y 40 modificadas, a las que se les colocó un punto rojo para que los sujetos fijaran la vista (figura 6). En el área temporo-parietal encontraron un efecto diferencial entre caras normales y modificadas. Las caras derechas generaron mayores efectos cuando tenían la modificación Thatcher en el área temporo-parietal derecha que en la izquierda. Por contraste, el efecto de caras modificadas invertidas con respecto a las caras normales no se lateralizó aunque fue significativo, lo que implica que ambos hemisferios se activaron.

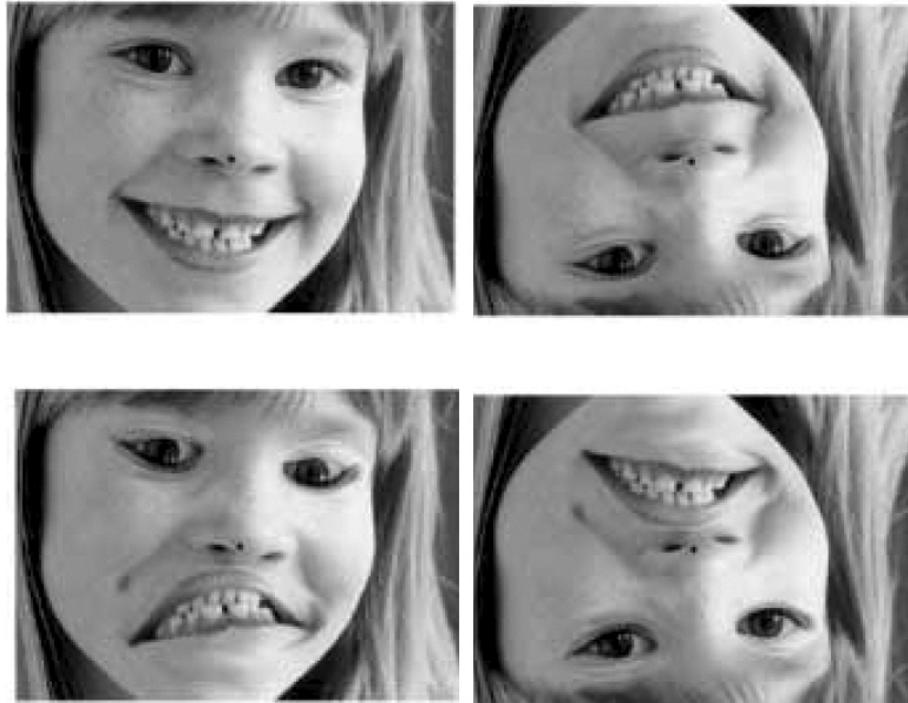


Figura 6.- Ejemplo de los estímulos utilizados por Rotshtein y sus colaboradores (2001)

Mientras Milivojevic y sus colaboradores (2003) investigaron los mecanismos neuronales que median el procesamiento utilizando los PREs, en 16 sujetos normales (5 mujeres) de entre 19 y 41 años. Los participantes realizaron una tarea de decisión de género para caras normales y modificadas (figura 7), presentadas por 1000 ms en una de seis orientaciones diferentes (de 0° a 300° de inclinación con cambios consecutivos de 60°). Para el registro del EEG se utilizaron 129 electrodos. Las amplitudes medias fueron analizadas para 8 electrodos temporo-occipitales posteriores y para cada uno de los cuatro segmentos temporales diferentes que correspondieron a P1, N170, P250 y un componente tardío. Milivojevic y sus colaboradores (2003) observaron fuertes efectos de las caras con la modificación de Thompson con orientación de 0° en los componentes P1 y N170. Específicamente, se incrementaron las amplitudes de N170 para caras con la modificación Thatcher en relación a las caras normales cuando se presentaron con orientación de 0°, en particular en el hemisferio derecho. También se encontraron efectos en dos componentes tardíos, el componente P250, también en la región parietal derecha, que se ha relacionado al reconocimiento configuracional, y un componente parietal tardío que refleja posiblemente el procesamiento de características como la nariz y ojos, el cual estaba distribuido bilateralmente. El efecto de la modificación Thatcher en los dos componentes tardíos disminuyó gradualmente (para el componente

P250) y abruptamente (para el componente parietal tardío) cuando las caras fueron giradas. Por contraste, no se observó ningún efecto en alguno de los cuatro componentes para las caras invertidas. Los autores concluyeron que los PREs se relacionaban con la ilusión perceptual.

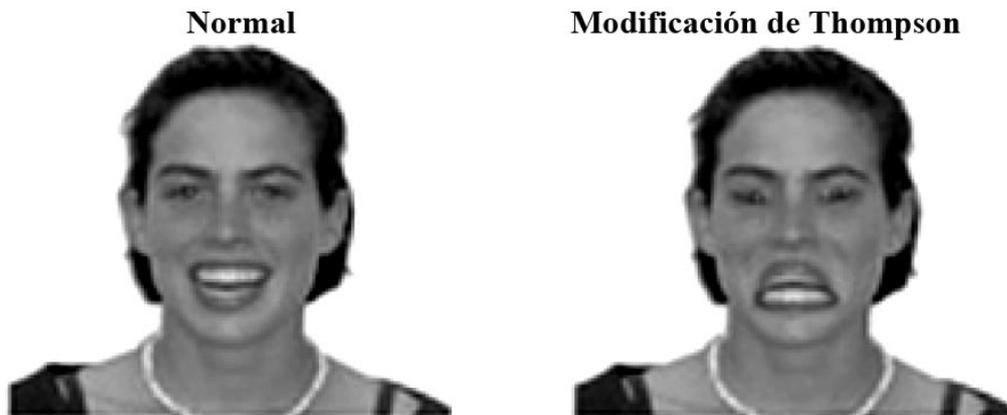


Figura 7.- Ejemplo de los estímulos utilizados por Milivojevic y sus colaboradores (2003)

Se encontró que los componentes P100, N170 y P250 incrementaron su amplitud cuando los sujetos vieron las caras modificadas derechas, pero este efecto desapareció o se atenuó al girar las caras. Este hallazgo se correlaciona con la ilusión perceptual. Sin embargo, el cambio en la percepción de una cara modificada después de la inversión no sólo se acompañó por un cambio en el componente de N170 sensible a caras, sino también en los P100 y P250 que no presentan sensibilidad a caras. Esto sugiere que la inversión del rasgo local puede afectar igualmente los procesos perceptuales generados por las caras y los objetos.

Carbon y sus colaboradores (2005) en un estudio con dieciséis sujetos normales (11 mujeres) con edades entre 18 y 27 años, utilizaron caras normales y con la modificación Thatcher de fotografías de ocho celebridades femeninas muy conocidas (por ejemplo Penélope Cruz). Los sujetos fueron sometidos a un entrenamiento para familiarizarse con las caras de las celebridades. Es interesante que para la modificación Thatcher de las caras se invirtieron las áreas de los ojos y la boca 180° y después se alisaron los bordes resultantes de estas áreas (figura 8). Cuando los sujetos se familiarizaron con las caras (obteniendo alto puntaje en el reconocimiento de caras), se sometieron al experimento para obtener los PREs de caras normales y con la modificación Thatcher

presentadas en tres orientaciones (0°- [derecha], 90°, y 180°) en una tarea del reconocimiento del nombre de la celebridad (figura 9).

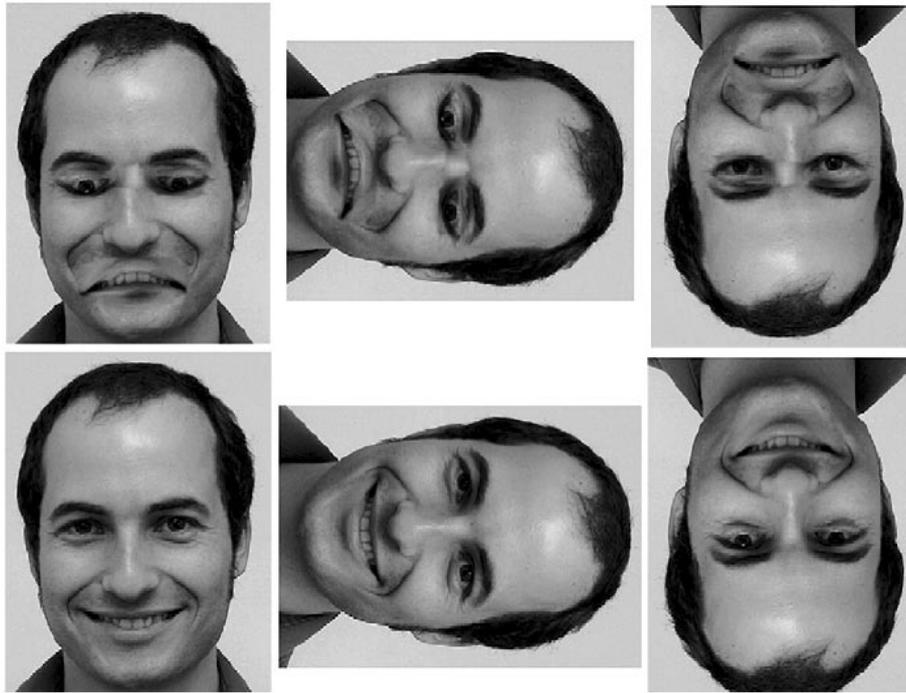


Figura 8.- Ejemplo de los estímulos utilizados por Carbon y sus colaboradores (Carbon et al., 2005)

En contraste con Milivojevic y sus colaboradores (2003), Carbon y sus colaboradores (2005) encontraron que solamente el componente N170 incrementó su amplitud como efecto de la modificación Thatcher para caras derechas; este efecto estaba reducido en caras invertidas. La modificación Thatcher no influyó en el P1 y tuvo sólo un pequeño efecto en el componente P250. Aunque este resultado demuestra un correlato neuronal de la ilusión Thatcher con el componente N170, también es diferente de los resultados de Milivojevic et al. (2003) en dos aspectos, primero el N170 para las caras invertidas no varía con la modificación Thatcher, y segundo, los componentes más tempranos y más tardíos también eran influenciados por la modificación Thatcher. Cabe mencionar que los resultados de Carbon y sus colaboradores (2005) se correlacionan con el estudio de imagen (fMRI) por Rotshtein y sus colaboradores (2001) que encontraron que la modificación Thatcher afecta la actividad neuronal en regiones corticales específicas (área temporo-occipital derecha) tanto para caras derechas como invertidas; que no coincide con los efectos conductuales de la ilusión Thatcher.

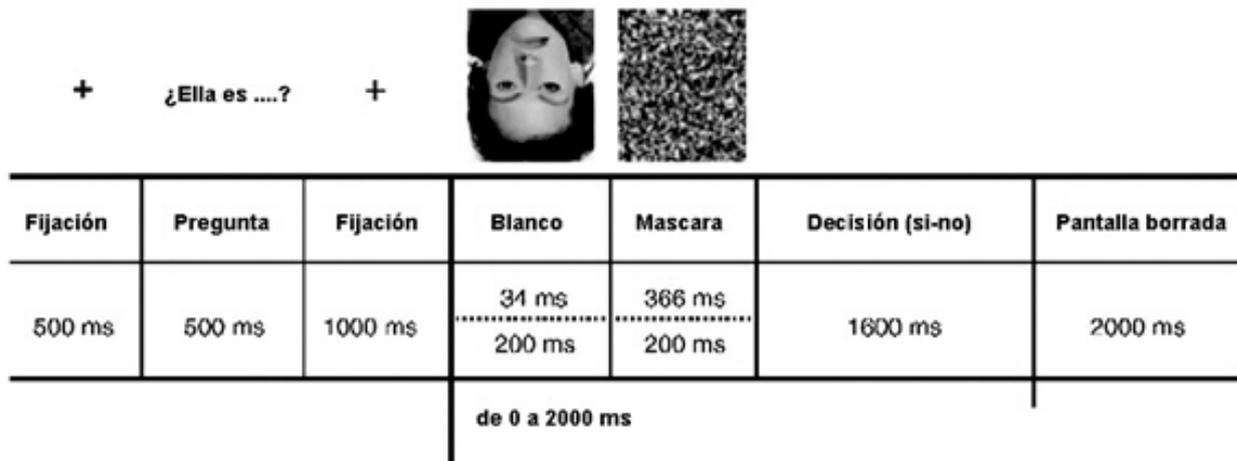


Figura 9.- Secuencia de estímulos del experimento de Carbon y sus colaboradores (2005)

Un trabajo más reciente dentro de esta línea, es el de Boutsen y sus colaboradores (2006) que en 12 sujetos sanos (8 mujeres) con edades entre 20 y 43 años, aplicaron la modificación Thatcher a caras y a casas. Las caras con la modificación Thatcher consistieron en fotografías de 20 caras (10 mujeres, 10 hombres) a las cuales se les invirtieron los ojos y la boca. Las imágenes de las caras en todas las condiciones estaban ligeramente borrosas para enmascarar las discontinuidades de los bordes en las caras con la modificación Thatcher que podrían distinguirlas de las normales. Las casas con la modificación Thatcher fueron creadas invirtiendo la puerta delantera y por lo menos dos ventanas, las casas tanto normales como con la modificación Thatcher no estaban borrosas. Otro estímulo fue una silla la cual no sufrió ninguna modificación (figura 10).

El experimento de Boutsen y sus colaboradores (2006) consistió en dos tareas oddball: la detección de sillas (infrecuente) entre caras y casas (frecuentes) (tarea de la silla), y la detección de casas (infrecuente) entre caras y sillas (frecuentes) (tarea de la casa). Registraron los PREs con arreglo de alta densidad en los sujetos durante la percepción de caras y objetos que no son caras, para determinar si la inversión y modificación afectan mecanismos neuronales similares. Los sujetos miraron caras y casas en cuatro condiciones (derecho vs. invertido, y normal contra modificación Thatcher) mientras detectaban el estímulo infrecuente. La modificación Thatcher demoró el componente N170 sobre la corteza temporo-occipital para las caras, pero no para las casas. Esta modulación fue más grande para caras derechas que para caras invertidas. El componente P1 sobre las regiones occipitales mediales se retardó por la inversión de la

cara, pero no por la modificación Thatcher. Finalmente, la modificación Thatcher de las caras retardó al componente P2 sobre regiones temporo-occipitales, pero no sobre regiones parietales. Todos los efectos involucrados en la modificación Thatcher fueron específicos para las caras. Estos resultados indican que el efecto de la inversión de la cara e inversión del rasgo (en las caras con modificación Thatcher) puede distinguirse electrofisiológicamente, y que afectan el procesamiento configuracional de caras en ventanas temporales diferentes.

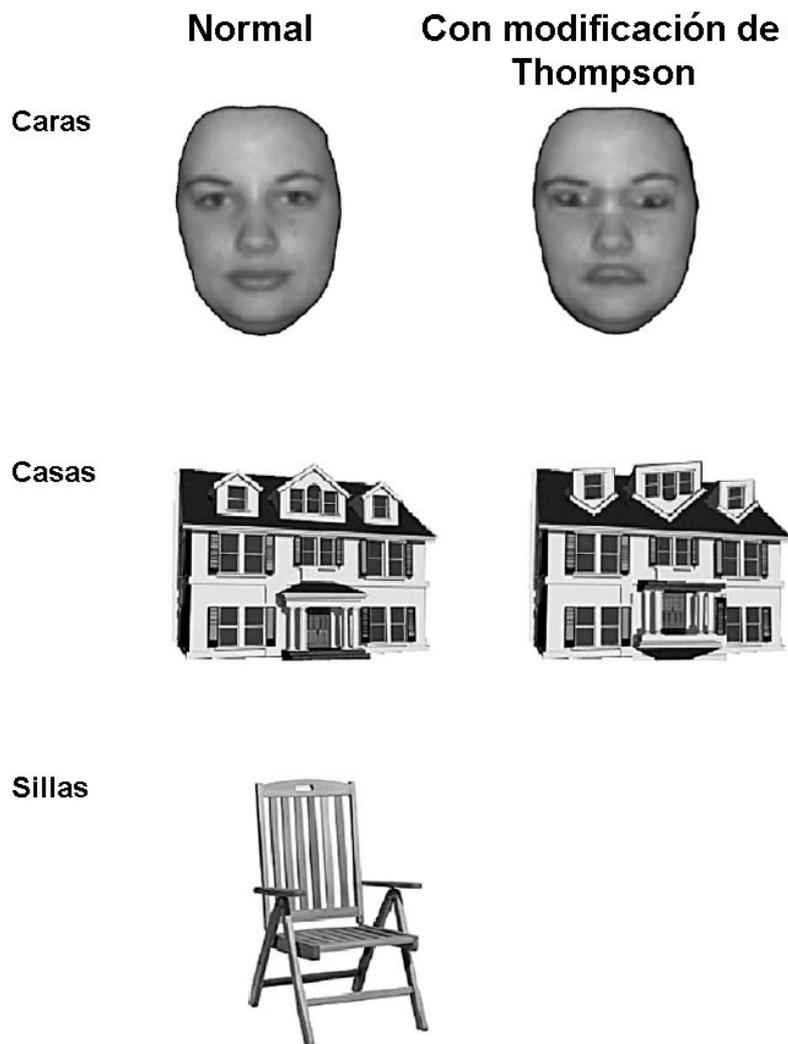


Figura 10.- Ejemplo de los estímulos utilizados por Boutsen y sus colaboradores (2006)

Por último, Gu y sus colaboradores (2007) realizaron un experimento con 22 sujetos sanos (9 mujeres) con edades entre 22 y 27 años. Utilizaron fotografías de 20 caras (10 hombres y 10 mujeres). Las caras tenían una expresión neutra y eran monocromáticas. Para producir las caras con la modificación Thatcher se giraron 180° las áreas

rectangulares de los ojos y la boca. Además se obtuvo otro juego de caras en las cuales se giraron las fotos completas 180°, dando un total de 80 estímulos diferentes (20 (fotos) x 2 (normal contra modificadas) x 2 (derecha contra invertida) = 80 estímulos). A diferencia de los estudios anteriores (Milivojevic et al., 2003; Carbon et al., 2005; Boutsen et al., 2006), los sujetos realizaron una tarea en donde se juzgó la orientación de los rasgos faciales. Para ello, los estímulos tuvieron un tiempo de presentación de 500 ms y el intervalo entre dos ensayos fue 1500 ms. El EEG fue registrado con 30 electrodos según el sistema 10-20. Gu y sus colaboradores (2007) encontraron que la distribución de los PREs para los estímulos de caras normales era notablemente diferente que para los estímulos de caras con la modificación Thatcher. Esto se confirmó por la interacción entre condición, orientación (derecha vs invertida) y hemisferio en el análisis del componente N170. Así encontraron que la modificación Thatcher para las caras derechas e invertidas muestra diferencias en el área temporo-occipital izquierda permitiéndoles concluir que (i) el área temporo-occipital izquierda del cerebro es sensible a la información de los componentes de las caras observadas, y que (ii) el área temporo-occipital derecha del cerebro es sensible a la información configuracional, para esta diferenciación argumentan que todos los otros experimentos previos (Milivojevic et al., 2003; Carbon et al., 2005; Boutsen et al., 2006) no se pide prestar atención a las caras obteniéndose una mayor actividad en el hemisferio derecho, mientras que en su experimento, se pide prestar atención a las características de las caras obteniendo una mayor actividad en el hemisferio izquierdo.

Los trabajos anteriores muestran que la modificación Thatcher tiene efectos sobre la actividad eléctrica cerebral.

**IV.3.- Medidas espectrales del electroencefalograma:** Las investigaciones sobre el origen de la actividad eléctrica rítmica cerebral en varias bandas de frecuencia indican que un complejo sistema homeostático morfofisiológico regula el poder espectral del EEG. El tallo cerebral, tálamo y las proyecciones corticales que involucran grandes poblaciones neuronales participan en esta regulación. (Llinás, 1988; Lopes da Silva, 1996; McCormick, 1992; Steriade et al., 1990).

Neuronas marcapasos normalmente distribuidas a través de los núcleos talámicos oscilan sincronamente en el rango de frecuencia de  $7.5 \pm 12.5$  Hz. Las proyecciones eferentes distribuidas globalmente a través de la corteza producen la actividad eléctrica rítmica conocida como el ritmo alfa que domina el EEG de una persona sana despierta y en estado de reposo. El núcleo reticular del tálamo puede hiperpolarizar las membranas

celulares de las neuronas talámicas (núcleos de relevo sensorial e intralaminares) por medio de la liberación de GABA, retardando el ritmo alfa dominante al rango theta ( $3.5\pm 7.5$  Hz) y reduciendo la entrada sensorial a la corteza. La actividad lenta delta ( $1.5\pm 3.5$  Hz) se originaría en las neuronas osciladoras en las capas corticales profundas y en el tálamo, asociándose con un procesamiento completamente cortical de la información; normalmente esta actividad es inhibida por las proyecciones de la formación reticular mesencefálica (FRM). La actividad rápida en la banda beta ( $12.5\pm 20$  Hz) se cree que refleja transacciones cortico-corticales y tálamo-corticales relacionadas al procesamiento de información sensorial específica (figura 11) (Hughes y Roy, 1999).

La activación vía la FRM causa la inhibición del núcleo reticular talámico por vía serotoninérgica. La actividad dominante del poder espectral del EEG llega a ser más rápida, con el incremento de la actividad alfa y la actividad beta de frecuencia más alta, y el flujo de información hacia la corteza a través del tálamo se facilita (Hughes y Roy, 1999).

La corteza puede activar al núcleo reticular talámico directamente por vías glutamatérgicas para suprimir la entrada de información a nivel cortical y, por las proyecciones del estriado, la dopamina puede inhibir a la FRM. Tal vía inhibitoria a la FRM provoca la inhibición de las neuronas talámicas y bloquea el flujo de información sensorial a la corteza a través del tálamo (Hughes y Roy, 1999).

Esto sugiere que las deficiencias o excesos de cualquiera neurotransmisor deben de producir señales aferentes del espectro normal del EEG homeostáticamente regulado. Por lo que cambios del espectro se asociarían con un cambio del estado estacionario basal a un nuevo estado estacionario donde una actividad lenta implicaría un procesamiento cortical sin entrada sensorial, mientras que una actividad rápida se relacionaría con procesamiento cortical con una entrada sensorial continua (Hughes y Roy, 1999).

Puede razonablemente esperarse que el poder espectral del EEG sea estable y característico para los seres humanos sanos, como resultado de la regulación homeostática de estos procesos, con una alta especificidad que refleja probablemente nuestra herencia genética común. También es razonable esperar una gran sensibilidad del poder espectral de EEG para obtener correlatos del procesamiento de información sensorial o cognitiva (Hughes y Roy, 1999).

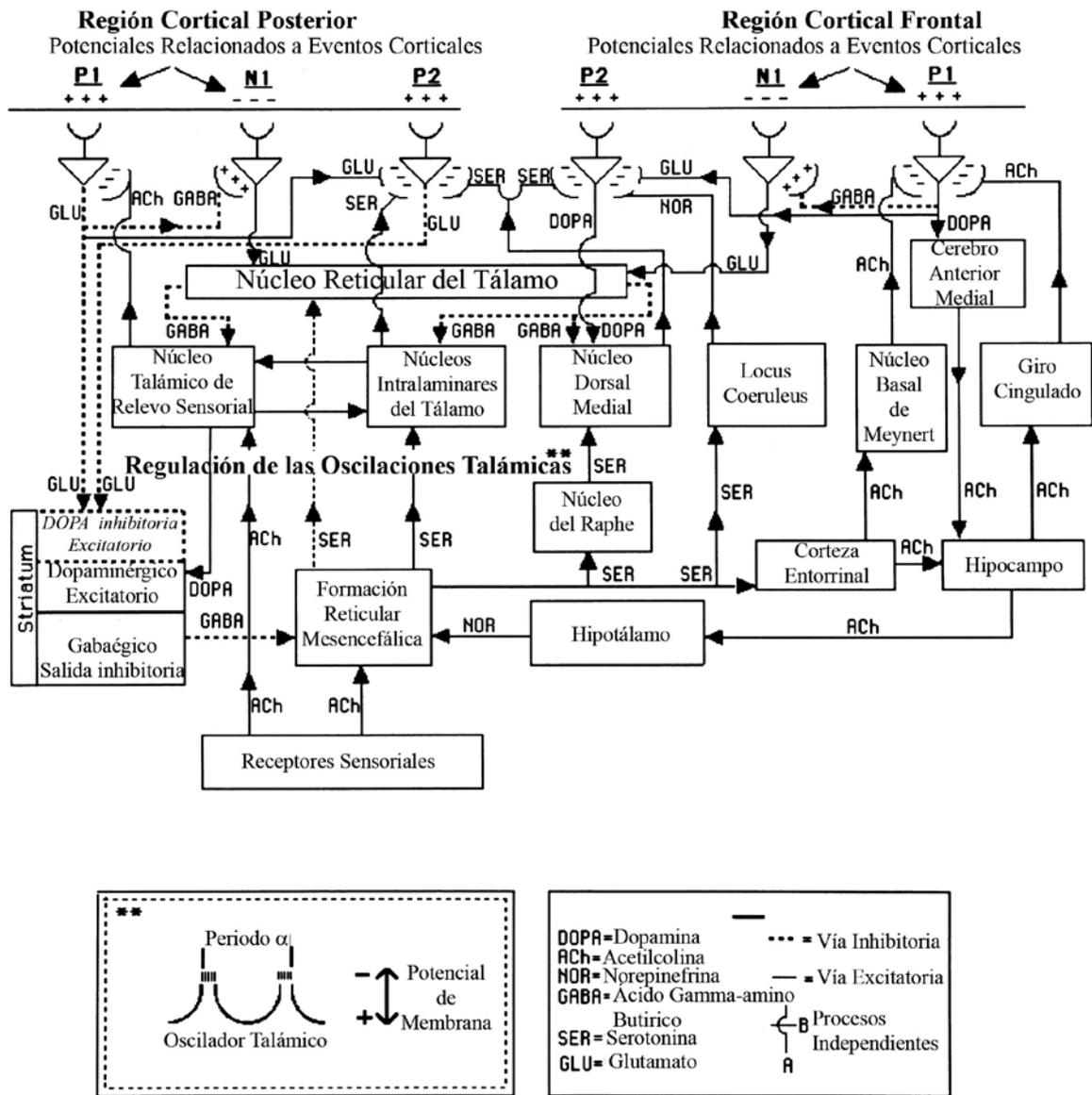


Figura 11. Modelo de la regulación homeostática de la actividad eléctrica cerebral generadora del EEG (Hughes y Roy, 1999).

Para la aplicación del análisis espectral se requiere asumir que el EEG es un sistema estacionario y de tipo periódico. Un sistema puede considerarse estacionario cuando los parámetros estadísticos de la distribución de las frecuencias del espectro no cambian de espectro a espectro. Para considerarse un sistema periódico debe ser posible identificar un patrón que se va repitiendo periódicamente (Rampil, 1998).

El análisis espectral consiste en el examen independiente y en tiempo real de pequeños fragmentos correlativos del EEG. Cada uno de estos fragmentos puede descomponerse en los trenes de ondas que son los componentes básicos de la señal original. La duración

de estos segmentos de EEG a analizar es variable según los autores, aunque lo más común es el empleo de segmentos de uno a dos segundos de duración (Levy, 1987). Las ondas componentes de estos segmentos pueden ser definidas por tres propiedades fundamentales: frecuencia, amplitud, y fase. En base a ello, se puede calcular la potencia espectral como el cuadrado de la amplitud de cada una de las frecuencias componentes del fragmento de EEG.

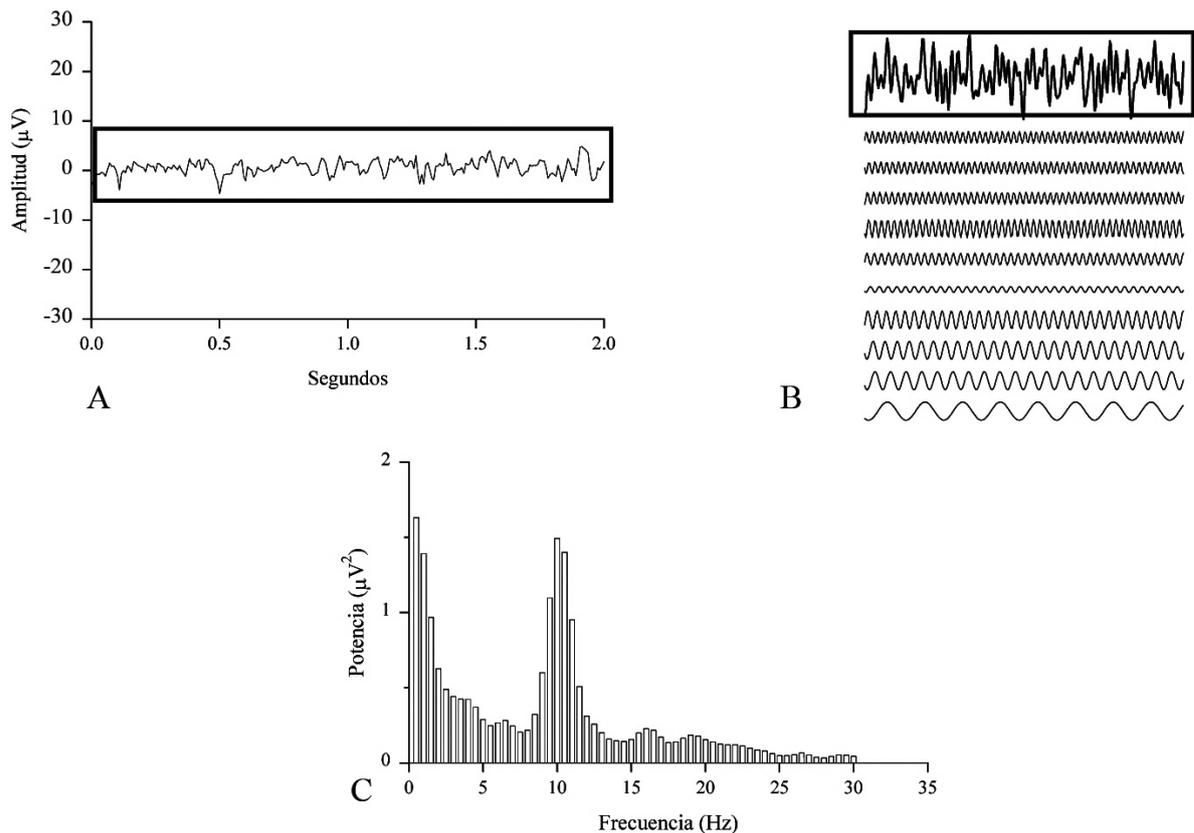


Figura 12. Análisis espectral de un fragmento de señal EEG. A) Se muestran 5 segundos de EEG basal. B) Se detalla la descomposición de los dos primeros segundos en sus ondas componentes fundamentales. C) Gráfica del espectro de frecuencias de 0.5 a 30 Hz del segmento de EEG analizado (Levy, 1987).

La descomposición de la señal en su "espectro" de frecuencias es lo que se conoce como análisis espectral (figura 12). La descomposición espectral se basa en los principios desarrollados por Fourier. Fue Dietsch (1932) quien primero aplicó el análisis de Fourier, mediante cálculo manual, al análisis del EEG detectando diferencias en ritmo y en presencia de armónicos entre los trenes de ondas de sujetos en reposo o realizando una tarea mental. Posteriormente, Cooley y Tukey (1965) desarrollaron la denominada

Transformada Rápida de Fourier que permite calcular eficientemente los valores necesarios para el análisis espectral. La Transformada Rápida de Fourier permite calcular la distribución y la potencia de cada una de las frecuencias componentes del espectro.

En la mayoría de trabajos la aplicación de la Transformada Rápida de Fourier sobre segmentos de un segundo, da como resultado un espectro compuesto por los haces de frecuencia que van desde 0.5 Hz hasta 30 Hz. Se suelen rechazar las frecuencias superiores a 30 Hz principalmente por cuestiones técnicas (Thatcher et al., 1983, 2003, 2005; Ricardo y Rueba, 2009).

Para cada una de estas frecuencias se obtiene el valor de su "potencia" cuya unidad de medida es el  $\mu\text{V}^2$ , equivalente al cuadrado de la amplitud que se mide en  $\mu\text{V}$  de cada onda sinusoidal componente (Thatcher et al., 1983, 2003, 2005; Ricardo y Rueba, 2009).

A partir del análisis espectral se han descrito diversos parámetros empíricos que han sido empleados para caracterizar los cambios de la actividad cortical durante la ejecución de diferentes tareas mentales.

En este sentido se podría calcular la potencia total incluida en el espectro o la potencia absoluta para cada una de las bandas de frecuencia del espectro. La potencia total sería los  $\mu\text{V}^2$  contenidos en el espectro de frecuencias entre 0.5 y 30 Hz. La potencia absoluta (PA) en las diferentes bandas del espectro ( $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\theta$ ,  $\delta$ ) es lo mismo que la total pero para cada banda de frecuencia. La potencia relativa (PR) en las diferentes bandas es el cociente de la potencia absoluta por banda entre la potencia total. Mientras que las potencias absolutas reflejan el efecto que puede tener la tarea sobre las distintas bandas de forma independiente y, a veces en sentido opuesto (aumentos de la potencia en una banda con disminución en otra), las potencias relativas dependerán siempre de cómo afecte no sólo a la banda en estudio sino a todas las demás (Thatcher et al., 1983, 2003, 2005; Ricardo y Rueba, 2009).

La relación de potencias (RP) se obtiene dividiendo la PA izquierda entre la PA derecha de regiones homólogas y corresponde a una medida de simetría (Thatcher et al., 2003, 2005).

#### **IV.4.- Estudios sobre la actividad electroencefalográfica del procesamiento caras:**

Los estudios anteriores son importantes para una comprensión del procesamiento de caras porque la inversión y otras manipulaciones configuracionales pueden tener

distintos efectos sobre la actividad eléctrica cerebral, sin embargo, existen pocos estudios respecto al procesamiento de caras con las medidas espectrales del EEG, entre ellos podemos mencionar los siguientes:

Ozgoren y sus colaboradores (2005) realizaron un estudio de EEG cuantitativo en el reconocimiento de caras. Para ello registraron un total de 26 sujetos (17 mujeres) de entre 15-36 años en nueve electrodos (F3, F4, Cz, C3, C4, P3, P4, O1, y O2). Los estímulos fueron caras conocidas (foto de las abuelas de los sujetos en estudio) y desconocidas (foto de una mujer mayor), la duración del estímulo fue de 1000 ms con intervalos que variaban entre 3.5 y 7.5 s. La señal electroencefalográfica se analizó por la determinación de la amplitud de la frecuencia característica (AFC). Al comparar caras desconocidas contra conocidas reportaron un incremento frontal de la actividad beta. Se observó también en la banda beta una asimetría en caras conocidas en la región parietal ( $P3 > P4$ ), no compararon con respecto a la línea base.

Posteriormente, Basar y sus colaboradores (2006) repitieron el trabajo anterior pero con 13 electrodos (F3, F4, Cz, C3, C4, T3, T4, T5, T6, P3, P4, O1 y O2). Los resultados obtenidos al comparar las caras conocidas (foto de las abuelas de los sujetos en estudio) contra las caras desconocidas (foto de una mujer mayor) fueron: un incremento de theta en la región frontal derecha (F4) y una reducción en temporal derecha (T6). Para la banda beta reporta un incremento frontal (F3, F4) y en Cz y P3 ante los estímulos de caras desconocidas. Así, consideran que los procesos sensoriales y cognoscitivos relacionados con los estímulos faciales que llegan al cerebro necesariamente son más complejos que otros estímulos visuales; de esta forma activan por completo el cerebro y todas las oscilaciones durante el reconocimiento o recuerdo de una cara conocida o desconocida. Concluyen que los estímulos faciales provocan una respuesta de la actividad cerebral con una estructura tridimensional, que difiere en espacio, tiempo y frecuencia. Las respuestas a una cara no está representada por una ubicación y frecuencia particular, sino que se distribuye por la corteza (Basar et al., 2006).

Cabe señalar que en el rango de frecuencia delta, se observaron incrementos de amplitud significativos en áreas posteriores como respuestas a caras conocidas y desconocidas, pero no en áreas frontales (Basar et al., 2006).

En un trabajo reciente de Basar y sus colaboradores (2008) analiza el EEG evocados por la cara de una persona amada en una muestra de 20 mujeres que afirmaban estar profundamente enamoradas de sus novios, se les solicitó una fotografía de su pareja y de un amigo íntimo. Las fotos proporcionadas, junto con una serie de fotografías de una

persona desconocida y una señal luminosa constituyeron los estímulos del experimento. Los estímulos tuvieron dos formas diferentes de presentación: aleatoria y en bloques de categorías. Encontraron que el reconocimiento de caras y de la expresión facial provocó un aumento de la actividad delta frontal y occipital siendo aun mayor esta última. Esto los llevó a concluir que la actividad delta parece jugar un papel central en el reconocimiento y procesamiento de caras.

Es notorio que en todos los trabajos que utilizan el EEG cuantitativo para estudiar el procesamiento de caras tratan, aparte del aspecto perceptual, del reconocimiento de los rostros que esta asociados con memoria, mientras que el trabajo de Basar y sus colaboradores (2008) tienen explícito el aspecto emocional, ninguno trata de los aspectos exclusivamente perceptuales del procesamiento de caras, hecho que caracteriza el presente trabajo.

## V.- Planteamiento del problema

Considerando que los estudios (Milivojevic et al. 2003; Carbon et al., 2005; Boutsen et al., 2006; Gu et al, 2007) del procesamiento electroencefalográfico de caras con la modificación Thatcher se caracterizan por:

- i) Presentación de estímulos de muy corta duración lo que favorece el procesamiento configuracional (hemisferio derecho) y no por componentes (hemisferio izquierdo) (Sergen, 1988).
- ii) Estudian el efecto de inversión.
- iii) Utilizan los PREs, los cuales están más relacionados a cambios en la actividad cerebral producidos como respuesta a un estímulo (Harmony, 1984; Muñoz y Jiménez, 2001), y no el EEG (Llinás, 1988; Lopes da Silva, 1996; McCormick, 1992; Steriade, et al., 1990).
- iv) El diseño de las tareas tiene involucrados varios procesos, como son los sensoriales, mnemónicos, emocionales y familiaridad. Ninguno es completamente sensorial.
- v) Las tareas no exigen prestar atención explícitamente a las caras.
- vi) Las muestras tienen composición mixta de géneros y son de tamaño reducido.

El presente estudio se diferencia de los trabajos previos en los siguientes puntos:

- i) No se estudia el efecto de inversión.
- ii) No se estudiaron los PREs, sino las medidas espectrales del EEG (Potencia absoluta, potencia relativa y relación de potencias). De aquí que no se espera que exista semejanza entre los resultados obtenidos con los PREs, y los de las medidas espectrales del EEG.
- iii) Los estímulos se presentaron durante más tiempo, lo cual es crítico dado que permite, de acuerdo con Sergent (1988), un mayor procesamiento de las caras por componentes con mayor actividad del hemisferio izquierdo.
- iv) Todos los estímulos presentados correspondían a caras diferentes, desconocidas y en gran número, evitando los efectos de memoria, emoción y familiaridad.
- v) En la tarea se pide prestar atención a los componentes de las caras.
- vi) La muestra era homogénea en género (solo hombres) a fin de evitar que las diferencias reportadas entre el EEG de hombres y mujeres contaminaran los datos.

vii) El tamaño de muestra es más grande, este es un punto importante dado que se reduce la probabilidad de cometer un error tipo II.

De ahí que en el presente estudio se espera tener evidencias de un procesamiento sensorial de las caras con reducción de otros procesamientos relacionados con la memoria, la emoción y la familiaridad.

Las preguntas que se pretenden responder son:

¿Será sensible el EEG cuantitativo al procesamiento de caras normales y modificadas?

¿Será sensible el EEG cuantitativo a las diferencias entre caras normales y modificadas, en particular en las bandas delta y beta?

¿Será sensible el EEG cuantitativo a las diferencias hemisféricas entre caras normales y modificadas?

## **VI.- Objetivos específicos**

Determinar si existen diferencias en las medidas espectrales del EEG de las caras normales y modificadas con respecto a la línea base.

Determinar si existen diferencias en las medidas espectrales del EEG entre caras normales y modificadas.

Determinar el mapa topográfico en las medidas espectrales del EEG entre caras normales y modificadas.

Determinar las asimetrías hemisféricas del EEG entre caras normales y modificadas.

Determinar si las medidas espectrales del EEG entre estímulos de caras normales y modificadas se comportan de acuerdo con Sergent (1988), un mayor procesamiento por componentes en el hemisferio izquierdo.

## **VII.- Hipótesis**

Al comparar las medidas espectrales del EEG entre un estímulo de una cara normal y un estímulo de una cara modificada, se espera obtener diferencias en regiones frontales y temporales para las bandas delta y beta de acuerdo a lo reportado por Ozgoren et al., (2005) y Basar et al., (2006, 2008), pero a diferencia de ellos, no se esperan cambios en la banda theta ya que la tarea no está asociada más procesos de memoria y emoción.

También se espera encontrar asimetrías hemisféricas al comparar caras normales contra modificadas en la región frontal derecha y temporo-parietal izquierda de acuerdo a los sustentado por Levy et al., (1972), Damasio et al., (1982, 1999) y Sergent (1988).

## VIII.- Método

**VIII. 1.- Sujetos:** Inicialmente participaron 48 sujetos normales de entre 20 y 30 años masculinos, diestros, todos alumnos de la UNAM del séptimo y octavo semestre, sin padecimiento psiquiátrico que requiriera del uso de psicofármacos, con una visión normal o corregida con lentes. De los 48 fueron excluidos 16 debido a que su EEG resultó artefactado (12 sujetos) o no tuvieron el número suficiente de respuestas correctas (90% mínimo) (4 sujetos).

Los restantes 32 sujetos tuvieron una edad promedio de 23.4 años, con una desviación estándar de 2.99 años. Su número de respuestas correctas en promedio fue del 96.70% con una desviación estándar de 2.46%.



Figura 13.- Ejemplo de una fotografía con las características señaladas.

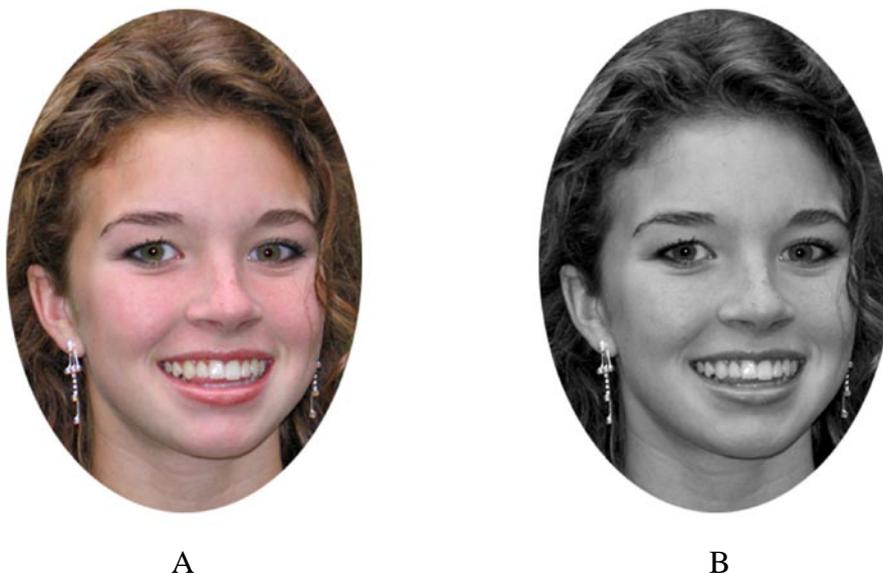


Figura 14.- Ejemplo de la obtención de caras normales quitando el contexto y el color.

A) Foto sin contexto. B) Misma foto sin color.

**VIII.2.- Diseño de los estímulos:** Se recopilaron fotografías de 200 caras de mujeres occidentales jóvenes las cuales tenían una sonrisa enseñando los dientes y los ojos abiertos; que no eran famosas para evitar el procesamiento relacionado con el reconocimiento (figura 13). Cada una de las fotografías fueron procesadas con el programa Adobe Photoshop versión 7, obteniéndose la cara (figura 14A), quitando el contexto y el color (figura 14B).

Se dividieron al azar en dos grupos de 100 fotografías. Al primer grupo no se realizó ninguna modificación adicional, por lo que constituyeron el grupo de caras normales.

Mientras que las 100 fotografías restantes se modificaron invirtiéndoles los ojos y la boca con el programa Kai's Power Goo (figura 15). Estas constituyeron el grupo de caras modificadas. Los 200 estímulos presentaron de forma aleatorizada.

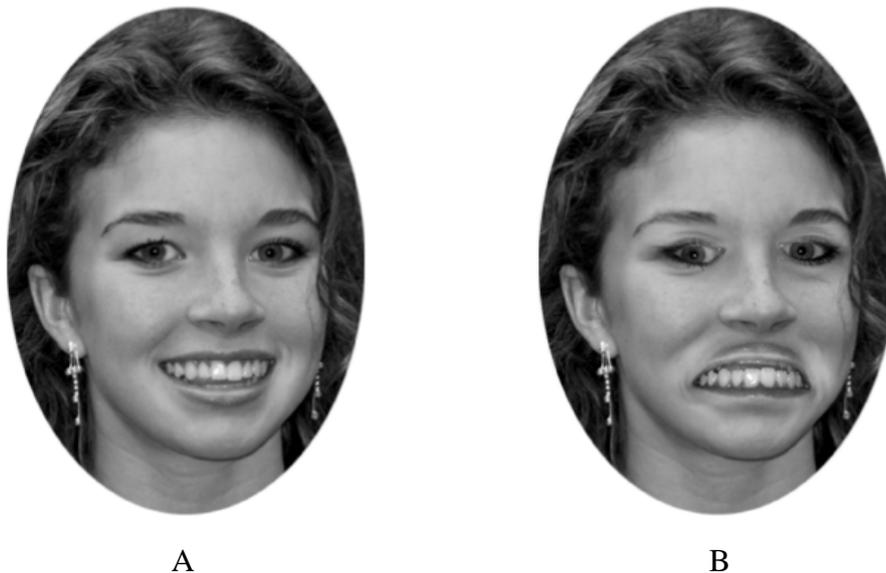


Figura 15.- Ejemplo de la obtención de la caras modificadas invirtiendo los ojos y la boca con el programa Kai's Power Goo. A) Foto base. B) Misma foto invirtiendo los ojos y la boca.

**VIII.3.- Procedimiento:** La indicación que se les proporcionó a los sujetos fue:

“Este experimento tiene la finalidad de registrar la actividad eléctrica cerebral provocada por caras normales y caras modificadas. Para esto, te vamos a mostrar una serie de fotografías. Si consideras que son caras normales aprieta la tecla 1 y si las consideras modificadas aprieta la tecla 2.

Antes de aparecer las imágenes, el monitor te presentará una cruz (+), en este momento debes fijar tu vista en la pantalla.

Debes mantener tu vista fija a la imagen sin mover los ojos, ni parpadear y dar tu respuesta hasta que aparezca el signo de interrogación (?). Si aprietas antes de que aparezca la interrogación no te espantes, no pasa nada, simplemente no sigue el experimento, hasta que no respondas con la interrogación presente en la pantalla.

Antes de presentar las imágenes vamos a hacer un periodo de cinco minutos sin imágenes, en donde debes estar callado sin moverte, sin mover los ojos y mirando al centro de la pantalla”.

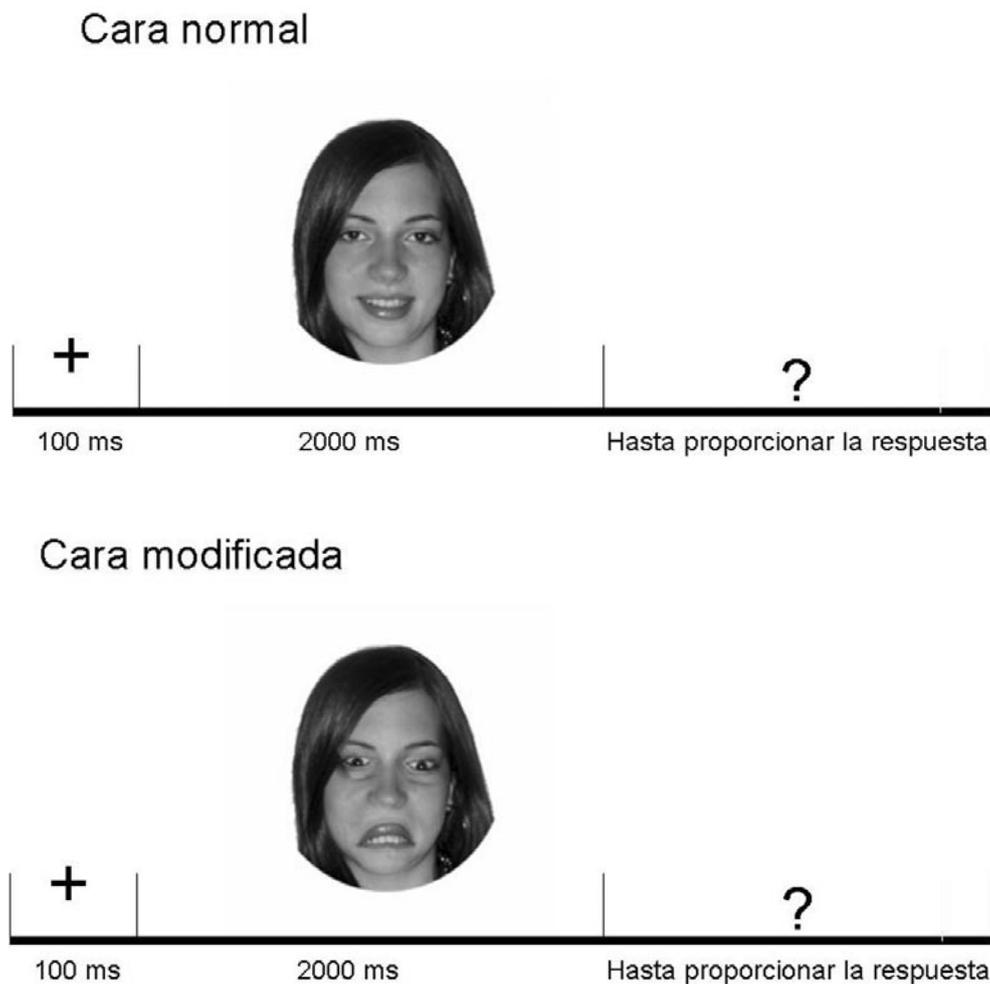


Figura 16.- Secuencia de presentación de los estímulos.

Los primeros 5 minutos del registro constituyó la línea donde el sujetos debía estar en reposo con la vista fija en el monitor

Los estímulos se presentaron en el siguiente orden: Primero se presentó un estímulo de fijación que correspondió a una cruz por 100 ms, posteriormente se presentó por 2000 ms el estímulo prueba (cara normal o cara modificada) y por último un signo de

interrogación, el cual se mantenía por un tiempo indefinido hasta que se proporcionaba la respuesta (figura 16), según expresado en el párrafo anterior.

Los estímulos se presentaron utilizando el programa E-Prime™ a través del monitor de una computadora que se encontraba a una distancia de 80 cm del sujeto.

La presentación de los estímulos fue aleatorizado.

**VIII. 4.- Registro del EEG:** Se realizó un registro referencial del EEG en 21 derivaciones del sistema internacional 10-20 (Fp1, Fp2, Fpz, F3, F4, C3, C4, P3, P4, O1, O2, F7, F8, Fz, T3, T4, T5, T6, Cz, Pz y Oz) (figura 17), utilizando como referencia las orejas cortocircuitadas. El período muestral fue de 5 ms, durante una época de 1275 ms. También se registraron los movimientos oculares utilizando dos electrodos colocados, uno en la región supraorbital (para registro de movimientos verticales) y otro lateral a la órbita (para registro de movimientos horizontales) del ojo derecho. El equipo utilizado para el registro fue un electroencefalógrafo digital Neuroscan ejecutando el programa Scan™, el cual fue sincronizado con la computadora de estimulación mediante el programa E-Prime™ que también se utilizó como sistema de estimulación, de modo que se registró el EEG de manera continua, mientras el sujeto realizaba la tarea en la computadora de estimulación.

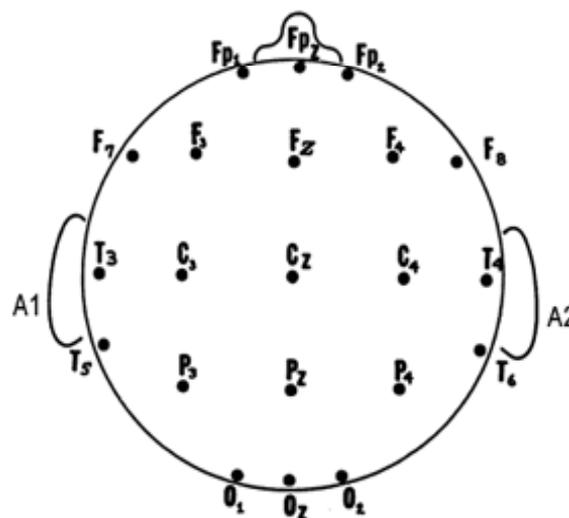


Figura 17.- Colocación de los 21 electrodos según el sistema internacional 10-20.

Al inicio se registró la línea base por cinco minutos, posteriormente se ejecutó la tarea. Cada cinco minutos se proporcionó un minuto de descanso al sujeto.

**VIII. 5.- Edición y análisis del EEG:** Este procedimiento se llevó a cabo separadamente para dos condiciones:

- a) Línea base: Primero se obtuvo el segmento de 5 minutos previos al experimento, se eliminó el artefacto de movimientos oculares y se seleccionaron los segmentos de 1275 ms continuos libres de artefactos.
- b) Estímulos: Primero se eliminó el artefacto de movimientos oculares y posteriormente se seleccionaron todos los segmentos de 1275 ms posteriores a la presentación del estímulo donde se había respondido correctamente y que estuvieran libres de artefactos (figura 18), tanto de las caras normales como para las modificadas.
- c) Tanto para la línea base como para los estímulos se realizó el análisis de frecuencias de banda ancha y se calcularon las medidas espectrales del EEG (Potencia absoluta, potencia relativa y relación de potencias) para las 4 bandas de frecuencia: delta (1.75 a <3.91 Hz), theta (3.91a <7.81 Hz), alfa (7.81 a <12.5 Hz) y beta (12.5 a 24.22 Hz), para cada condición experimental: línea base, caras normales y caras modificadas y para las veintiún derivaciones. Estos datos se ordenaron en una matriz de 252x32 con el programa Excel para la potencia absoluta y relativa, y en una matriz de 96x32 para la relación de potencias, estas matrices se exportaron al programa “Statistica”, para su análisis estadístico.

### Cara normal

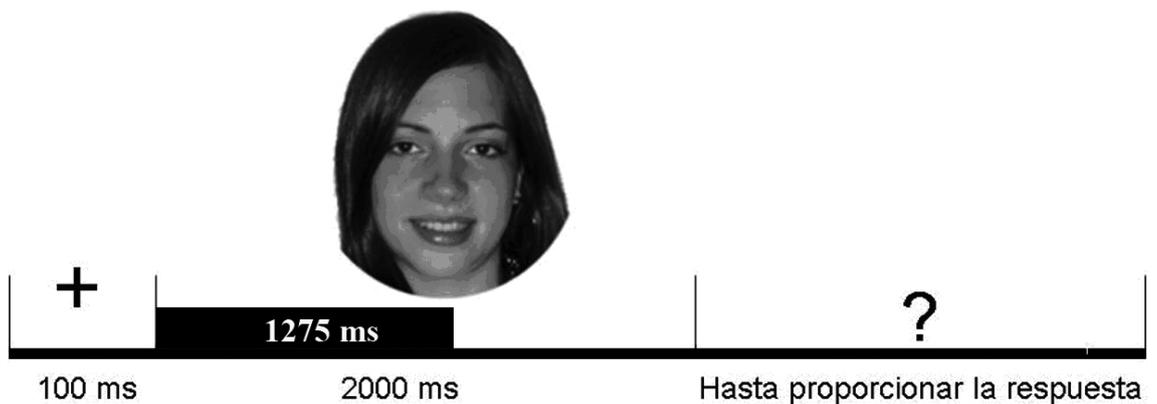


Figura 18.- Segmento del EEG que se analizó en relación con la presentación del estímulo durante el estudio experimental.

**VIII. 6.- Datos conductuales:** Los datos conductuales fueron los tiempos de reacción tomados a partir de la presentación del signo de interrogación, tanto para los estímulos de caras normales como para caras modificadas.

**VIII. 7.- Análisis estadístico:** El análisis estadístico de los datos se llevó a cabo usando la edición 2001 del programa “Statistica” para “Windows” versión 7 (StatSoft, 2001).

**VIII. 7.1.- Análisis de normalidad:** Se verificó la normalidad de las medidas espectrales del EEG utilizando la prueba de la “W” de Shapiro-Wilks. Debido a que no se encontró normalidad se realizaron las siguientes transformaciones de las medidas de la PA y PR:

Potencia absoluta:  $\text{Ln}(\text{PA})$

Potencia relativa:  $\text{Ln}\{\text{PR}/(1-\text{PR})\}$

**VIII. 7.2.- Análisis de las medidas espectrales del EEG:** El análisis de cada una de las medidas espectrales del EEG fue realizado a través de un ANOVA de medidas repetidas teniendo como factores: bandas de frecuencias (4), condición (línea base, caras normales, caras modificadas) y derivaciones (21), aplicándose la corrección de Greenhouse-Geisser. Cuando se encontraron diferencias estadísticamente significativas ( $\alpha < 0.05$ ) se determinaron las diferencias mínimas significativas de Fisher (L.S.D) entre la derivaciones homólogas por banda y por condición.

**VIII. 7.3.- Análisis de los tiempos de reacción:** El análisis de los tiempos de reacción fue realizado a través de una prueba de “t” para datos pareados entre los dos tipos diferentes de caras (modificadas contra normales).

## IX.- Resultados y discusión

### IX.1.- Análisis conductual.

**IX.1.1.- Resultado de la prueba de “t” pareada para los TR:** La prueba de “t” pareada para los TR para los dos diferentes tipos de caras (modificadas contra normales) dio un valor de  $t=0.2171215$  con  $p=0.87795$ . Estos valores indican que no existen diferencias significativas en los tiempos de reacción entre los dos tipos de caras.

**IX.1.2.- Discusión de los resultados del análisis conductual:** No es un resultado inesperado el no encontrar diferencias significativas en los tiempos de reacción, debido a que la tarea de reconocer y diferenciar caras se considera una tarea en extremo sencilla (Schwaninger et al., 2003). Si además consideramos que uno de los criterios de inclusión de los sujetos en la muestra fue tener al menos 90% de aciertos (el número de respuestas correctas en promedio fue del 96.70% con una desviación estándar de 2.46%). Podemos asumir que la ausencia de diferencias entre los tiempos de reacción entre las caras normales y modificadas, fue debido a que ambos estímulos tenían la misma dificultad.

### IX.2.- Potencia absoluta.

**IX.2.1.- Resultado del análisis de varianzas de medidas repetidas.** El rm-ANOVA para la potencia absoluta dio los resultados de la tabla I, en la cual se muestran solo los factores y las interacciones en donde se obtuvieron diferencias significativas.

<b>Tabla I</b>				
Diferencias significativas encontradas para las potencias absolutas teniendo como factores las bandas, condición y derivaciones.				
<b>Factores</b>	<b>G.L.</b>	<b>F</b>	<b>P</b>	<b>Greenhouse-Geisser</b>
<b>BANDAS</b>	3	483.8056	<0.001	<0.001
<b>DERIVACION</b>	20	19.9789	<0.001	<0.001
<b>BANDAS*CONDICIÓN</b>	6	5.0178	<0.001	0.0039
<b>BANDAS*DERIVACION</b>	60	27.2469	<0.001	<0.001
<b>CARAS*DERIVACION</b>	40	2.4928	<0.001	0.0207
<b>BANDAS*CONDICIÓN*DERIVACION</b>	120	2.5212	<0.001	0.0056

**IX.2.2.- Resultado de la determinación de las diferencias mínimas significativas de Fisher (L. S. D.):** Ya establecida la existencia de diferencias significativas, se procedió a determinar las diferencias mínimas significativas de Fisher (L.S.D) por banda y derivación para las siguientes diferencias de las potencias absolutas medias: 1) PA caras normales menos PA línea base, 2) PA caras modificadas menos PA línea base, y 3) PA caras modificadas menos PA caras normales. Estas se muestran en las tablas II, III y IV.

<b>Tabla II</b>			
Valores de la probabilidad observada para la L.S.D. de la potencia absoluta para la banda delta de las diferencias: a) caras normales menos línea base, b) caras modificadas menos línea base, y c) caras modificadas menos caras normales. El símbolo “+” indican que la primera condición de la diferencia posee más PA que la segunda. El símbolo “-” indica lo contrario.			
<b>Derivación</b>	<b>normal - base</b>	<b>modificada- base</b>	<b>modificada - normal</b>
FP1:	0.0121 (+)	<0.001 (+)	0.0017 (+)
FP2:		<0.001 (+)	0.0034 (+)
FPZ:	0.0012 (+)	<0.001 (+)	0.0002 (+)
F7:	0.0165 (+)	<0.001 (+)	0.0198 (+)
F3:	0.0002 (+)	<0.001 (+)	0.0368 (+)
FZ:	<0.001 (+)	<0.001 (+)	0.0385 (+)
F4:	<0.001 (+)	<0.001 (+)	0.0191 (+)
F8:			0.0221 (+)
T3:	0.0160 (+)	<0.001 (+)	0.0029 (+)
C3:	<0.001 (+)	<0.001 (+)	0.0283 (+)
CZ:	0<0.001 (+)	<0.001 (+)	
C4:	<0.001 (+)	<0.001 (+)	
T3:	0.0296 (+)	<0.001 (+)	
T5:	0.0386 (+)	<0.001 (+)	0.0053 (+)
P3:	0.0019 (+)	<0.001 (+)	0.0034 (+)
PZ:	0.0022 (+)	<0.001 (+)	0.0107 (+)
P4:	<0.001 (+)	<0.001 (+)	
T6:	<0.001 (+)	<0.001 (+)	
O1:	<0.001 (+)	<0.001 (+)	
OZ:	<0.001 (+)	<0.001 (+)	
O2:	<0.001 (+)	<0.001 (+)	

**Tabla III**

Valores de la probabilidad observada para la L.S.D. de la potencia absoluta para la banda alfa de las diferencias: a) caras normales menos línea base, b) caras modificadas menos línea base, y c) caras modificadas menos caras normales. El símbolo “+” indican que la primera condición de la diferencia posee más PA que la segunda. El símbolo “-” indica lo contrario.

<b>Derivación</b>	<b>normal - base</b>	<b>modificada- base</b>	<b>modificada - normal</b>
F3:	0.0025 (-)	<0.001 (-)	
FZ:		0.0039 (-)	
F4:		0.0110 (-)	
T3:	<0.001 (-)	<0.001 (-)	
C3:	<0.001 (-)	<0.001 (-)	
CZ:	0.0222 (-)	<0.001 (-)	
C4:	0.0046 (-)	<0.001 (-)	
T4:	<0.001 (-)	<0.001 (-)	
T5:	<0.001 (-)	<0.001 (-)	0.0323 (-)
P3:	<0.001 (-)	<0.001 (-)	
PZ:	0.0011 (-)	<0.001 (-)	
P4:	0.0194 (-)	<0.001 (-)	
T6:	0.0031 (-)	<0.001 (-)	
O1:	0.0208 (-)	<0.001 (-)	
OZ:		0.0054 (-)	
O2:		0.0033 (-)	

**Tabla IV**

Valores de la probabilidad observada para la L.S.D. de la potencia absoluta para la banda beta de las diferencias: a) caras normales menos línea base, b) caras modificadas menos línea base, y c) caras modificadas menos caras normales. El símbolo “+” indican que la primera condición de la diferencia posee más PA que la segunda. El símbolo “-” indica lo contrario.

<b>Derivación</b>	<b>normal - base</b>	<b>modificada- base</b>	<b>modificada - normal</b>
FP1:	<0.001 (+)	<0.001 (+)	
FP2:	<0.001 (+)	<0.001 (+)	
FPZ:	<0.001 (+)	<0.001 (+)	
F7:	<0.001 (+)	<0.001 (+)	
F3:	<0.001 (+)	<0.001 (+)	
FZ:	<0.001 (+)	<0.001 (+)	
F4:	<0.001 (+)	<0.001 (+)	
F8:	<0.001 (+)	<0.001 (+)	
CZ:	0.0022 (+)		
C4:	0.0076 (+)		
T4:	0.0397 (+)		
T6:	0.0375 (+)		

Con las diferencias de los promedios de la potencia absoluta y la probabilidad observada en las tablas (II, III y IV) se obtuvieron los mapas topográficos de la PA por banda y para cada una de las comparaciones. Para poder tener una apreciación más clara del comportamiento de los datos, las probabilidades de las tablas (II, III y IV) se resumen en los esquemas de las 21 derivaciones en la figura 19, en donde con una flecha se señalan si existe un incremento o una reducción significativa de la potencia absoluta por banda con  $p < 0.05$  (flecha clara) o  $p < 0.01$  (flecha oscura).

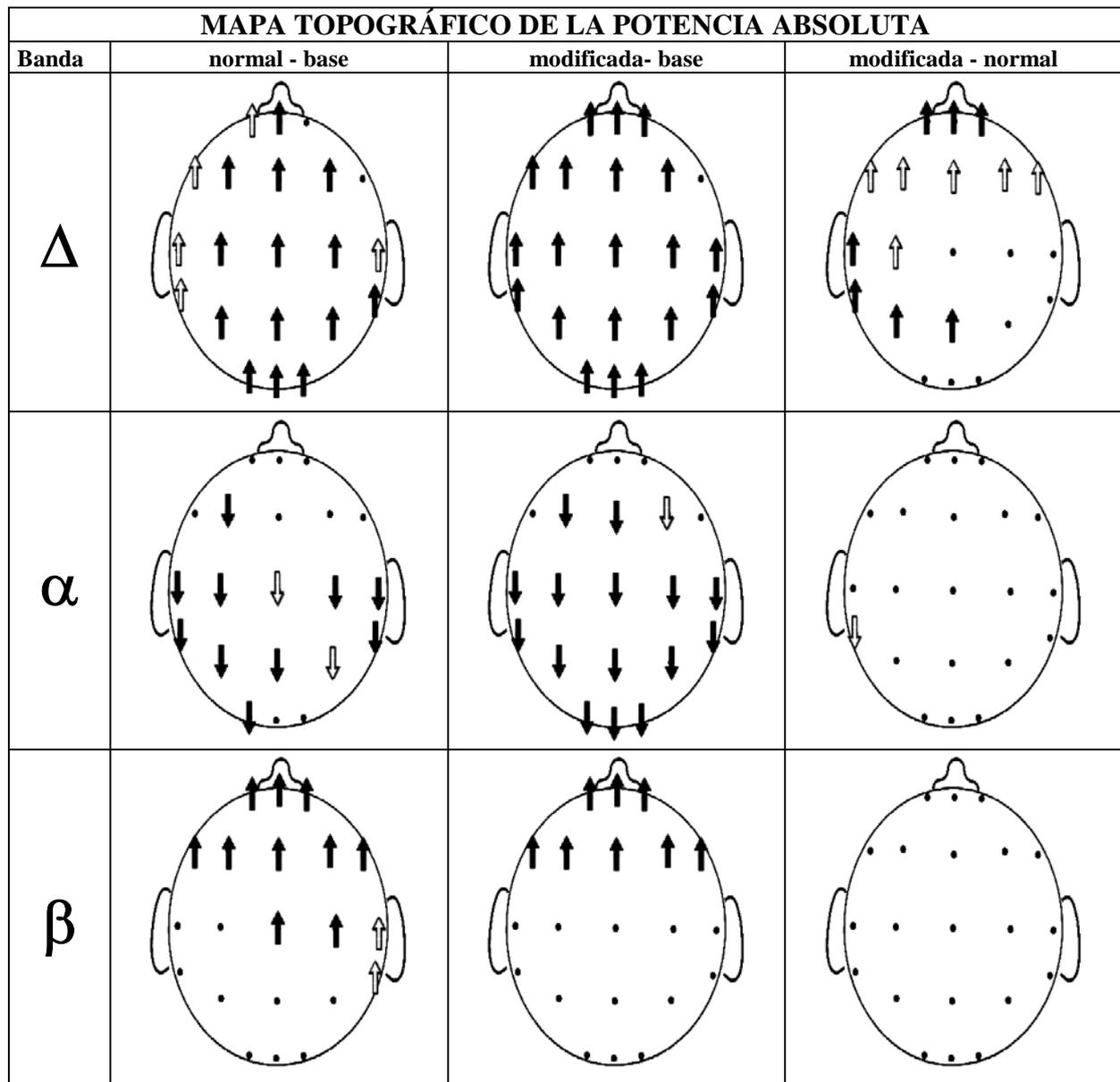


Figura 19.- Mapa topográfico de la distribución de las diferencias de las potencias absolutas por banda, y derivación. En la columna normal - base las flechas  $\uparrow$  indican mayor o  $\downarrow$  menor potencia absoluta en caras normales con respecto a la línea base. En la columna modificada - base, las flechas  $\uparrow$  indican mayor o  $\downarrow$  menor potencia absoluta en caras modificadas con respecto a la línea base. En la columna modificada - normal, las flechas  $\uparrow$  indican mayor o  $\downarrow$  menor potencia absoluta en caras modificadas con respecto a caras. Símbolos:  $\uparrow\downarrow$   $p < 0.01$ ,  $\uparrow\downarrow$   $p < 0.05$ .

En la Figura 19 es notorio un incremento generalizado de la potencia absoluta en la actividad en la banda delta ante el estímulo de caras normales, siendo aún mayor ante los estímulos de las caras modificadas respecto a la línea base. Es conveniente señalar que las mayores diferencias en las potencias absolutas se encontraron en la línea media, región parieto-occipital y región occipital cuando se compararon caras normales contra línea base. Mientras que al comparar caras modificadas contra línea base se observó un incremento generalizado en todas las derivaciones. En la comparación entre caras normales y modificadas se observó una mayor ( $p < 0.01$ ) potencia absoluta delta en las caras modificadas en las regiones prefrontales (FP1, FPz y FP2) y en la parieto-temporal izquierda (T3, T5, P3 y Pz).

No se observó ninguna diferencia significativa en la banda theta.

Respecto a los resultados de la potencia absoluta de la banda alfa, fue evidente una reducción significativa de la actividad en casi todas las regiones excepto en las áreas prefrontales. En la comparación caras normales contra línea base, esta reducción se manifestó en dos zonas claramente diferenciadas ( $p < 0.01$ ), en el hemisferio izquierdo se presentó en las regiones frontal (F3), temporal (C3 y T3) parietal (T5, P3 y Pz) y occipital (O1), mientras que en el hemisferio derecho se presentaron en la región temporal (T4, C4 y T6). Para caras modificadas comparadas con la línea base, se observó que la reducción ( $p < 0.01$ ) fue generalizada en la región posterior, siendo bilateral desde las zonas centro-frontales hasta las occipitales. En la comparación entre caras modificadas y normales solo se observó menos actividad alfa en la región parieto-temporal izquierda (T5) ( $p < 0.05$ ).

En la potencia absoluta de la banda beta, se presenta un incremento en las regiones frontales. En la comparación de caras normales contra la línea base, se observó un incremento significativo ( $p < 0.01$ ) en zonas frontales y en el área centro-temporal derecha. En cambio al comparar las caras modificadas contra la línea base solo se incrementó ( $p < 0.05$ ) la potencia absoluta de la banda beta en las regiones frontales. No se observaron diferencias significativas al comparar caras normales contra modificadas.

**IX.2.3.- Discusión de los resultados de las potencias absolutas:** A pesar de que varios estudios reportan un aumento de la actividad de ondas lentas en relación con diferentes tipos de tareas mentales (Valentino et al., 1993; Fernández et al., 1995; Harmony et al., 1996; Basar et al., 2008), pocos analizan la relación entre la banda delta y la actividad mental, esto es debido a que los resultados de dicha banda normalmente se ignoran y son explicados frecuentemente como varios artefactos que pueden estar presentes en

esta banda, los más prominente son los movimientos oculares. En nuestro caso se puede considerar que no existe artefactos por movimientos oculares por los siguientes motivos:

- 1.- Se eliminó el artefacto de ojos por dos vías: primero de forma digital (online) durante la edición con el programa Scan<sup>TM</sup>. Posteriormente durante la edición (off line) se realizó una cuidadosa limpieza eliminando los segmentos artefactados.
- 2.- La definición de la banda delta se tomó de 1.75 a <3.91 Hz, dado que los movimientos oculares generalmente son más lentos que 1.75 Hz, no hay posibilidad de que contaminen los datos. Sin embargo, la desventaja fue que no registramos actividad delta más lenta que este rango.
- 3.- Las mayores diferencias en las potencias absolutas de la actividad delta son predominantemente (tabla II) parieto-occipitales. Lo que hace evidente, que los resultados no se deben a artefactos de ojos.

De acuerdo con autores como Vogel et al., (1968) y Steriade et al., (1993) durante la ejecución de tareas mentales que requieren la atención en el procesamiento interno, se activa la vía corticofugal que inhibe las células tálamo-corticales, produciendo una desconexión funcional de la corteza a los estímulos irrelevantes para procesar selectivamente la información interna, provocando un incremento de la actividad delta.

También se ha descrito que en estudios con el hipocampo completo de rata, la actividad delta es dependiente de dos fuentes: (i) la coherencia en la hiperpolarización de las células piramidales corticales por actividad gabaérgica sincrónica, y (ii) un incremento de la actividad sincrónica de la red interneuronal. Esto implica que la actividad delta está relacionada con el procesamiento intracortical en las áreas corticales implicadas (Jazayeri et al., 2001).

Esto puede explicar los resultados obtenidos, dado que el procesamiento de una cara podría involucrar un mayor reclutamiento de los recursos atencionales, lo que provocaría un incremento en la potencia absoluta delta. En nuestro experimento ante la presencia del estímulo de caras independientemente que esta sea normal o modificada hubo un incremento de la actividad delta (figura 19). Es muy probable que esta actividad delta señale la atención hacia un estímulo significativo como son en general las caras. Un resultado similar es reportado por Basar y sus colaboradores (2008) quienes encontraron un incremento de la actividad delta cuando se presentaban estímulos de caras (amadas, familiares y desconocidas) en regiones frontales y temporo-

occipitales. Sin embargo, cuando se compararon las caras normales contra las modificadas se observó un incremento de la actividad delta (figura 19) que fue mayor en las áreas específicas probablemente relacionadas con el procesamiento analítico de las caras (corteza temporo-parietal izquierda), como ha sido propuesto por diferentes autores (Levy et al., 1972; Damasio et al., 1982, 1999; Sergent, 1988; Rhodes, 1985) junto con las áreas relacionadas con la toma de decisiones y la atención (corteza prefrontal) (Damasio, 1996, 2000; Thorpe y Fabre-Thorpe, 2001), sin embargo, hay que señalar que el EEG no tienen una gran resolución espacial. Este resultado está de acuerdo con el señalamiento de Sergent (1988) quien considera que la supuesta ventaja del hemisferio derecho en el procesamiento de caras es debido a los breves tiempos de presentación de los estímulos faciales, condición que se presentó en los primeros estudios electrofisiológicos que utilizaron caras con la modificación Thatcher (Rotshtein et al., 2001; Milivojevic et al. 2003; Carbon et al., 2005; Boutsen et al., 2006) lo que explicaría que encontrarán siempre una mayor actividad del hemisferio derecho. Además, Sergent (1988) considera que una presentación breve solo favorece un procesamiento configuracional de la cara, pues un procesamiento de los componentes faciales necesitaría un tiempo mayor de presentación de la misma lo que favorecería un procesamiento de tipo analítico por parte del hemisferio izquierdo. Precisamente esta última condición es la que se presenta en nuestro experimento, dado que se da un mayor tiempo de presentación de las caras y en la instrucción, se solicitó al sujeto prestar atención a los componentes faciales. Esto puede explicar la mayor actividad delta en la región temporo-parietal izquierda cuando se compararon caras normales contra las modificadas. Mi experimento implicó un procesamiento por componentes de las caras con la modificación Thatcher, lo cual podría llevarse a cabo en el del área temporo-parietal izquierda. Hay que señalar que Gu y sus colaboradores (2007), en un experimento con PREs en donde se le pidió a los sujetos que pusieran atención a los componentes faciales de los estímulos encontró, también un incremento de la amplitud de N170 en el área temporo-parietal izquierda. Ellos consideraron también que esta área estaba relacionada con el procesamiento de los componentes de las caras. Estos resultados también están de acuerdo con los reportes neuroanatómicos de varios autores (Levy et al., 1972; Damasio et al., 1982, 1999; Sergent, 1988; Rhodes, 1985), así como con lo encontrado por Ozgoren y sus colaboradores (2005), quienes observaron incrementos significativos de la amplitud de la banda delta en áreas posteriores, en respuesta a caras conocidas y desconocidas (Basar et al., 2006, 2008).

De acuerdo con lo anterior, podemos considerar que:

- a) El incremento de la actividad delta generalizado ante estímulos de caras (normal o modificada) cuando se compara con la línea base, puede interpretarse como un aumento de atención dirigida hacia dichos estímulos.
- b) Al comparar las respuestas generadas por las caras con la modificación Thatcher con las caras normales, el incremento prefrontal de la actividad delta podría estar relacionada con la atención y la toma de decisión que exigía la tarea.
- c) La mayor actividad delta en el área temporo-parietal izquierda al comparar caras normales contra caras con la modificación Thatcher, podía ser debida a un mayor procesamiento de los componentes de las caras. Esto está en relación con los señalamientos de Sergent (1988) y se propone como un correlato neuronal del procesamiento por componentes de las caras. Este punto también se encuentra en concordancia por los datos reportados por Damasio y sus colaboradores (1982) quienes consideran la existencia de diferentes mecanismos específicos de reconocimiento de caras para cada hemisferio, así el hemisferio izquierdo se caracterizaría por poseer un patrón mnésico donde se analizan los diferentes rasgos que se definen las distintas caras, mientras que el hemisferio derecho, estaría más asociado con aspectos configuracionales. De esta forma, nuestros resultados nos llevan a considerar que el área temporo-parietal izquierda estaría asociada con el procesamiento por componentes de las caras.

Con respecto a la banda theta, no se obtuvieron diferencias significativas (figura 19). Esto puede ser debido a que el procesamiento de caras es una tarea que se considera extremadamente simple (Schwaninger y Mast, 1999; Schwaninger et al., 2003). Varios autores han encontrado que la actividad theta se incrementa con la dificultad de la tarea (Gundel y Wilson, 1993; Inouye et al., 1993; Klimesch et al., 1994). Harmony y sus colaboradores (1996) también reportan un incremento de la potencia absoluta theta en tareas difíciles.

Uno de los cambios observados en el estudio fue la disminución generalizada de la potencia absoluta alfa (figura 19), sin embargo, ésta es una observación común desde que fue registrado el primer EEG por Hans Berger (Adrián y Matthews, 1934), fenómeno conocido como supresión alfa, muy frecuente cuando se ejecutan tareas mentales con ojos cerrados, pero que también ha sido reportado cuando se realizan tareas semejantes con ojos abiertos (Fairclough et al., 2005) hecho que concuerda con nuestro experimento (figura 19). Debido a la complejidad de la señal del EEG, no ha

sido de todo resuelto el significado de la actividad alfa, hasta este momento no se puede distinguir en forma confiable esta actividad del ruido blanco filtrado (Linkenkaer et al., 2001). Posteriormente el mismo grupo de trabajo (Linkenkaer et al., 2007) en estudios con gemelos mono y dicigóticos, usando la medida de correlación llegaron a la conclusión de que las oscilaciones alfa no pueden ser explicadas por cambios causados por variables experimentales, sino más bien reflejan parámetros fisiológicos genéticamente determinados que modulan la dinámica intrínseca de las redes neuronales. Esto nos muestra la complejidad inherente al significado de la actividad de la banda alfa. De forma general existen dos interpretaciones de la supresión alfa: (1) que está relacionada con los procesos cognoscitivos a partir de las diferencias en la supresión alfa entre las tareas existentes y (2) que representa una respuesta más general relacionada con el nivel de atención y la complejidad de la tarea (Ray y Cole, 1985; Harmony et al., 1996). En nuestro caso la supresión alfa posee una condición semejante cuando se comparan ambas caras con respecto a la línea base. Es notorio que la mayor supresión alfa está ubicada en regiones temporales y parieto-occipitales al comparar ambos tipos de caras con respecto a la línea base, pero es mayor en caras modificadas (figura 19). Esto implica que las caras modificadas podrían provocar un mayor procesamiento cognoscitivo que las caras normales. Al comparar caras modificadas contra caras normales se observó una menor potencia absoluta alfa solamente en T5, sitio que se ha relacionado con el procesamiento analítico de las caras como ha sido propuesto por varios autores (Levy et al., 1972; Damasio et al., 1982, 1999; Sergent, 1988; Rhodes, 1985) (figura 19). Esto podría deberse a un mayor procesamiento de las caras modificadas.

En el caso de la actividad beta, varias funciones se le han asignado, como son la atención visual (Marrufo et al., 2001; Wrobel, 2000), los cambios relacionados con el movimiento (Müller et al., 2003), la excitación-inhibición cortical (Whittington et al., 2000), la memoria sensorial (Haenschel et al., 2000), tareas cognoscitivas (Ray y Cole, 1985), y familiaridad (Burguess y Ali, 2002). Recientemente Ozgoren y sus colaboradores (2005) presentaron un análisis de la actividad beta en el reconocimiento de caras conocidas y desconocidas, encontrando un aumento significativo de la respuesta de la banda beta en el reconocimiento de la cara y en la diferenciación de caras conocidas y desconocidas en regiones frontales. Sus resultados indican la existencia de una asimetría entre P3 y P4 para caras familiares, la cual no fue observada en caras desconocidas. Nuestros resultados mostraron un incremento de la potencia

absoluta beta en las regiones frontales al comparar ambos tipos de caras con respecto a la línea base (figura 19). Si consideramos que las caras presentadas eran desconocidas para los sujetos, nuestros resultados apoyan a los obtenidos por Ozgoren y sus colaboradores (2005), y los de Basar y sus colaboradores (2006), al encontrar un incremento de la actividad beta frontal bilateral para caras no-familiares. No se observaron diferencias significativas en la actividad beta entre las caras normales y modificadas, esto se puede interpretar como que ambos estímulos producen el mismo efecto (figura 19). Esto implica que un incremento en la actividad beta frontal se presenta para cualquier cara, ya sea normal o modificada. Esta actividad beta parece ser específica del reconocimiento de que el estímulo es una cara.

De acuerdo a nuestros resultados, el incremento generalizado en la banda delta, así como en la zona frontal bilateral en la banda beta, cuando se comparan ambos tipos de caras con respecto a la línea base, podría estar relacionado con un proceso complejo asociado con la detección de caras. Podemos señalar que hay evidencias obtenidas cuando se comparó las caras normales contra las modificadas que nos indican que es la actividad delta en el área temporo-parietal izquierda la que está principalmente involucrada en la detección de las anomalías de caras, no estando involucrada ninguna de las otras bandas.

En general, podemos resumir señalando que las potencias absolutas sugieren que:

- a) El incremento generalizado de la actividad delta está relacionado con la atención requerida para el procesamiento visual de las caras independientemente que sea normal o modificada.
- b) El incremento de la actividad beta frontal está asociada con la detección de caras, independientemente que sea normal o modificada.
- c) El incremento de la actividad delta en la región temporo-parietal izquierda se asociaría con la detección de caras modificadas. Podemos considerar, siguiendo a Sergent (1988), que está relacionado con el procesamiento de los componentes de las caras.

### IX.3.- Potencia relativa.

**IX.3.1.- Resultado del análisis de varianzas de medidas repetidas.** El rm-ANOVA para las potencias relativas generó los resultados de la tabla V, en la cual se muestran solo los factores y las interacciones en donde se obtuvieron diferencias significativas.

<b>Tabla V</b>				
Diferencias significativas encontradas para las potencias relativas teniendo como factores las bandas, condición y derivaciones.				
	<b>G.L.</b>	<b>F</b>	<b>P</b>	<b>Greenhouse-Geisser</b>
<b>BANDAS</b>	3	545.9642	<0.001	<0.001
<b>CARAS</b>	2	4.9196	0.010	0.0196
<b>DERIVACION</b>	20	14.6903	<0.001	<0.001
<b>BANDAS*CARAS</b>	6	6.1538	<0.001	0.0016
<b>BANDAS*DERIVACION</b>	60	25.3717	<0.001	<0.001
<b>BANDAS*CARAS*DERIVACION</b>	120	2.3726	<0.001	0.0154

**IX.3.2.- Resultado de la determinación de las diferencias mínimas significativas (L. S. D.):** Ya establecida la existencia de diferencias significativas, se procedió a determinar las diferencias mínimas significativas de Fisher (L.S.D) por banda y derivación para las siguientes diferencias de las potencias relativas medias: 1) PR caras normales menos PR línea base, 2) PR caras modificadas menos PR línea base, y 3) PR caras modificadas menos PR caras normales. Estas se muestran en las tablas VI, VII, VIII y IX.

**Tabla VI**

Valores de la probabilidad observada para la L.S.D. de la potencia relativa para la banda delta de las diferencias: a) caras normales menos línea base, b) caras modificadas menos línea base, y c) caras modificadas menos caras normales. El símbolo “+” indican que la primera condición de la diferencia posee más PR que la segunda. El símbolo “-” indica lo contrario.

<b>Derivación</b>	<b>normal - base</b>	<b>modificada- base</b>	<b>modificada - normal</b>
FP1:		0.0035 (+)	0.0099 (+)
FP2:			0.0374 (+)
FPZ:		<0.001 (+)	0.0105 (+)
F7:		0.0091 (+)	0.0391 (+)
F3:	0.0129 (+)	<0.001 (+)	
FZ:	<0.001 (+)	<0.001 (+)	
F4:	0.0091 (+)	<0.001 (+)	
T3:	0.0270 (+)	<0.001 (+)	0.0060 (+)
C3:	<0.001 (+)	<0.001 (+)	0.0201 (+)
CZ:	0.0011 (+)	<0.001 (+)	0.0448 (+)
C4:	0.0045 (+)	<0.001 (+)	
T4:	0.0170 (+)	<0.001 (+)	
T5:	0.0010 (+)	<0.001 (+)	0.0038 (+)
P3:	<0.001 (+)	<0.001 (+)	0.0089 (+)
PZ:	0.0072 (+)	<0.001 (+)	0.0121 (+)
P4:	<0.001 (+)	<0.001 (+)	
T6:	<0.001 (+)	<0.001 (+)	
O1:	<0.001 (+)	<0.001 (+)	
OZ:	<0.001 (+)	<0.001 (+)	
O2:	<0.001 (+)	<0.001 (+)	

**Tabla VII**

Valores de la probabilidad observada para la L.S.D. de la potencia relativa para la banda theta de las diferencias: a) caras normales menos línea base, b) caras modificadas menos línea base, y c) caras modificadas menos caras normales. El símbolo “+” indican que la primera condición de la diferencia posee más PR que la segunda. El símbolo “-” indica lo contrario.

<b>Derivación</b>	<b>normal - base</b>	<b>modificada- base</b>	<b>modificada - normal</b>
FP1:		0.0010 (-)	
FPZ:		0.0013 (-)	
F7:		0.0018 (-)	
F3:		0.0062 (-)	
FZ:	0.0108 (-)	<0.001 (-)	
F4:	0.0291 (-)	0.0018 (-)	
T3:		0.0086 (-)	0.0259 (-)
C3:		0.0216 (-)	
CZ:		0.0085 (-)	
T5:			0.0427 (-)
P3:		0.0472 (-)	
P4:		0.0449 (-)	
T6:	0.0356 (-)	0.0128 (-)	

**Tabla VIII**

Valores de la probabilidad observada para la L.S.D. de la potencia relativa para la banda alfa de las diferencias: a) caras normales menos línea base, b) caras modificadas menos línea base, y c) caras modificadas menos caras normales. El símbolo “+” indican que la primera condición de la diferencia posee más PR que la segunda. El símbolo “-” indica lo contrario.

<b>Derivación</b>	<b>normal - base</b>	<b>modificada- base</b>	<b>modificada - normal</b>
FP1:	0.0482 (-)	<0.001 (-)	0.0141 (-)
FP2:		0.0162 (-)	
FPZ:	0.0139 (-)	<0.001 (-)	0.0118 (-)
F7:	0.0110 (-)	<0.001 (-)	
F3:	<0.001 (-)	<0.001 (-)	
FZ:	<0.001 (-)	<0.001 (-)	
F4:	<0.001 (-)	<0.001 (-)	
T3:	<0.001 (-)	<0.001 (-)	
C3:	<0.001 (-)	<0.001 (-)	
CZ:	<0.001 (-)	<0.001 (-)	
C4:	<0.001 (-)	<0.001 (-)	
T4:	<0.001 (-)	<0.001 (-)	
T5:	<0.001 (-)	<0.001 (-)	<0.001 (-)
P3:	<0.001 (-)	<0.001 (-)	0.0171 (-)
PZ:	<0.001 (-)	<0.001 (-)	0.0389 (-)
P4:	<0.001 (-)	<0.001 (-)	
T6:	<0.001 (-)	<0.001 (-)	
O1:	<0.001 (-)	<0.001 (-)	
OZ:	<0.001 (-)	<0.001 (-)	
O2:	<0.001 (-)	<0.001 (-)	

**Tabla IX**

Valores de la probabilidad observada para la L.S.D. de la potencia relativa para la banda beta de las diferencias: a) caras normales menos línea base, b) caras modificadas menos línea base, y c) caras modificadas menos caras normales. El símbolo “+” indican que la primera condición de la diferencia posee más PR que la segunda. El símbolo “-” indica lo contrario.

<b>Derivación</b>	<b>normal - base</b>	<b>modificada- base</b>	<b>modificada - normal</b>
FP1:	0.0014 (+)		0.02345 (-)
FP2:	<0.001 (+)	0.004185 (+)	
FPZ:	0.0037 (+)		0.015339 (-)
F7:	0.0134 (+)		
F3:	0.0149 (+)		
FZ:	0.0372 (+)		
F4:	0.0168 (+)		
T3:	<0.001 (+)	0.0023 (-)	0.0328 (-)
C3:		0.0103 (-)	
CZ:		0.0330 (-)	
C4:		0.0197 (-)	
T4:		0.0340 (-)	
T5:		0.0171 (-)	
P3:		0.0296 (-)	
PZ:	0.0127 (-)	0.0178 (-)	
P4:	0.0363 (-)	0.0140 (-)	
T6:		0.0290 (-)	

Con las diferencias de los promedios de la potencia relativa y la probabilidad observada en las tablas (VI, VII, VIII y IX) se obtuvieron los mapas topográficos de la PR por banda y para cada una de las comparaciones. Para poder tener una apreciación más clara del comportamiento de los datos, las probabilidades de las tablas (VI, VII, VIII y IX) se resumen en los esquemas de las 21 derivaciones en las figuras 20 y 21, en donde con una flecha se señalan si existe un incremento o una reducción significativa de la potencia relativa por banda con  $p < 0.05$  (flecha clara) o  $p < 0.01$  (flecha oscura).

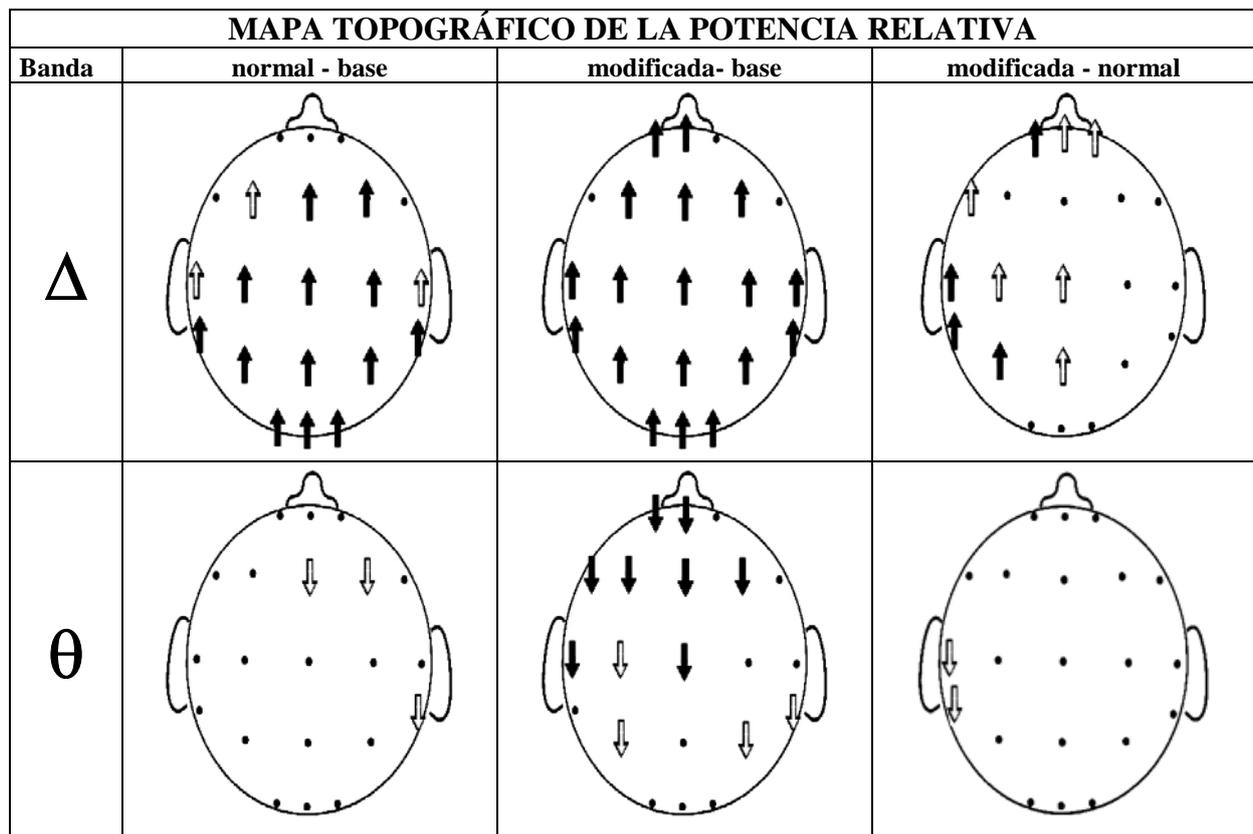


Figura 20.- Mapa topográfico de la distribución de las diferencias de las potencias relativas para las bandas delta y theta por derivación. En la columna normal - base las flechas  $\uparrow$  indican mayor o  $\downarrow$  menor potencia relativa en caras normales con respecto a la línea base. En la columna modificada - base, las flechas  $\uparrow$  indican mayor o  $\downarrow$  menor potencia relativa en caras modificadas con respecto a la línea base. En la columna modificada - normal, las flechas  $\uparrow$  indican mayor o  $\downarrow$  menor potencia relativa en caras modificadas con respecto a caras. Símbolos:  $\uparrow\downarrow$   $p < 0.01$ ,  $\uparrow\downarrow$   $p < 0.05$ .

En la figura 20 se observa un incremento significativo ( $p < 0.01$ ) generalizado de la potencia relativa en la banda delta al comparar caras normales contra la línea base, excepto en los electrodos prefrontal derecho (FP2) y frontales laterales (F7 y F8). Sin embargo, cuando se comparó caras modificadas contra la línea base se encontró una mayor cantidad de actividad delta ( $p < 0.01$ ) en casi todas las derivaciones excepto en los electrodos prefrontal derecho (FP2,  $p < 0.05$ ) y fronto-lateral derecho (F4). Hay que señalar que las mayores diferencias en las potencias relativas se encontraron en las regiones central, parietal y occipital. Cuando se compararon la potencia relativa delta entre caras modificadas y normales se observó una mayor ( $p < 0.01$ ) potencia relativa delta para caras modificadas en la región prefrontal izquierda (Fp1) y en la parieto-temporal izquierda (T3, T5 y P3).

A diferencia de lo observado con la potencia absoluta, en la figura 20 se aprecia una reducción significativa de la potencia relativa theta. Al comparar caras normales contra la línea base se observa una reducción significativa ( $p < 0.05$ ) de la potencia relativa en los electrodos de la región frontal superior derecha (Fz y F4) y temporo-parietal lateral derecha (T6). Pero al comparar las caras modificadas contra la línea base se observó una drástica reducción, teniendo la menor cantidad ( $p < 0.01$ ) de la actividad theta en la región prefrontal izquierda (FP1 y FPz), frontal (F7, F3, Fz y F4), temporal izquierdo (T3) y centro medial (Cz), y solo significativa ( $p < 0.05$ ) en la zona centro parietal lateral izquierda (C3 y P3) y en la temporo parietal derecha (P4 y T6). Cuando se compararon las potencias relativas de la banda theta de caras modificadas contra normales se observó en la región temporal izquierda (T3 y T5) una menor ( $p < 0.05$ ) cantidad de la actividad theta.

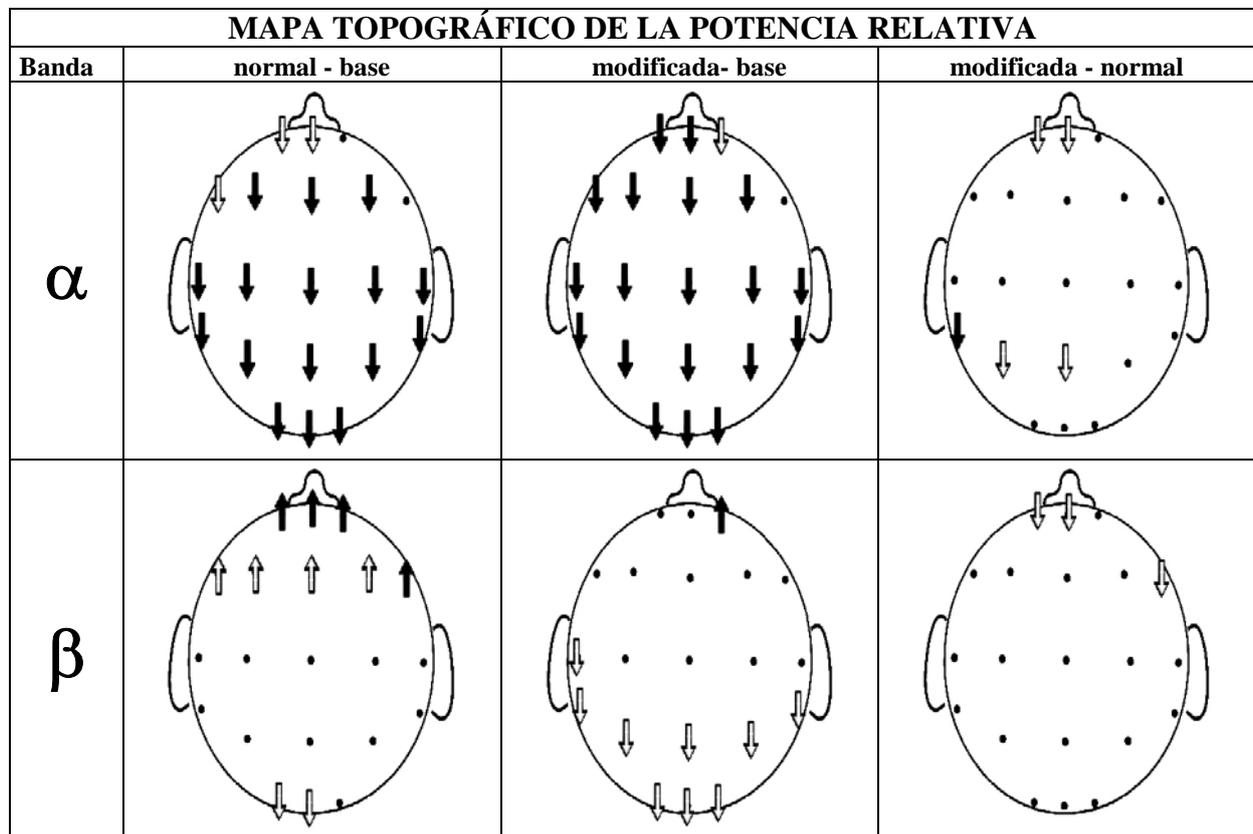


Figura 21.- Mapa topográfico de la distribución de las diferencias de las potencias relativas para las bandas alfa y beta por derivación. En la columna normal - base las flechas  $\uparrow$  indican mayor o  $\downarrow$  menor potencia relativa en caras normales con respecto a la línea base. En la columna modificada - base, las flechas  $\uparrow$  indican mayor o  $\downarrow$  menor potencia relativa en caras modificadas con respecto a la línea base. En la columna modificada - normal, las flechas  $\uparrow$  indican mayor o  $\downarrow$  menor potencia relativa en caras modificadas con respecto a caras. Símbolos:  $\uparrow\downarrow$   $p < 0.01$ ,  $\uparrow\downarrow$   $p < 0.05$ .

Considerando la figura 21, al comparar caras normales contra la línea base se encontró que una reducción (16 electrodos con  $p < 0.01$ ; Fp1, Fpz y F7 con  $p < 0.05$ ) generalizada de la cantidad de actividad alfa, excepto en los electrodos prefrontal y frontal lateral derechos (Fp2 y F8) donde no se observó diferencias. Mientras que al comparar caras modificadas contra la línea base también se encontró una reducción (19 electrodos con  $p < 0.01$ , y Fp2 con  $p < 0.05$ ) generalizada de la cantidad de actividad alfa, excepto en el electrodo frontal lateral derecho (F8) donde no se observó diferencias. Por último, cuando se comparó caras modificadas contra normales solo se observó en las regiones prefrontal izquierda (FP1 y FPz con  $p < 0.05$ ), temporal izquierda (T5 con  $p < 0.01$ ) y parietal izquierda (P3 y Pz con  $p < 0.05$ ) una menor cantidad de actividad alfa.

En el panel inferior de la figura 21 se presenta los resultados de las comparaciones de la potencia relativa de la actividad beta. Al comparar caras normales contra la línea base se observó en la región frontal (FP1, FPz, FP2 y F8 con  $p < 0.01$ ; F7, F3, Fz y F4 con  $p < 0.05$ ) una mayor cantidad de actividad beta, mientras que en la región occipital izquierda (O1 y Oz) se presentó una menor ( $p < 0.05$ ) cantidad de la actividad beta. Cuando se compararon caras modificadas contra la línea base, solo hay más ( $p < 0.01$ ) cantidad de la actividad beta en la región prefrontal derecha (FP2), mientras que en las regiones parieto-occipitales bilaterales (T3, T5, P3, Pz, P4, T6, O1, Oz y O2) se observó una menor ( $p < 0.05$ ) cantidad de actividad beta. Por último, en la comparación caras modificadas contra normales solo en la zona prefrontal izquierda (FP1 y FPz) y frontal lateral derecha (F8) se observó una menor ( $p < 0.05$ ) cantidad de actividad beta.

**IX.3.3.- Discusión de los resultados de las potencias relativas:** El aumento de la potencia relativa delta nos indica que existe un incremento en la cantidad de esta actividad casi generalizado ante la presentación de ambos tipos de caras respecto a la línea base. Esto está de acuerdo con los resultados encontrados para la potencia absoluta, hecho que no resulta sorprendente dada la importancia de la actividad delta como un signo que refleja la atención requerida para el procesamiento visual de las caras tanto modificadas como normales, por lo que era de esperarse que al existir una mayor amplitud en esta banda se encuentre asociada con una mayor cantidad de actividad. Resulta significativo que cuando se comparan caras normales y caras modificadas contra la línea base, el incremento de la actividad delta fue casi generalizado bilateralmente (figura 20), lo que implica una actividad global del cerebro durante el procesamiento de una cara modificada o no. Este hecho está de acuerdo con el incremento generalizado de la actividad delta reportado por Basar y sus colaboradores

(2008). Cuando se compararon las caras modificadas contra las caras normales, el incremento en la potencia relativa se presentó en las caras modificadas en las áreas temporo-parietal izquierda y prefrontal (figura 20). Esto último coincide con los resultados encontrados en la PA cuando se compararon caras modificadas contra normales caras, apoyando que la banda delta en esas regiones específicas es un signo electroencefalográfico de mayor relevancia para la detección de anomalías ante estímulos de caras.

Al contrario de lo encontrado con la potencia absoluta, se observó que la cantidad de actividad theta disminuye cuando se comparan caras modificadas contra la línea base en las regiones frontales, temporo-parietal izquierda y parietal derecha. Mientras que cuando se comparan las caras normales contra la línea base se observó menor cantidad de actividad theta en regiones frontal derecha y parietal derecha. Este resultado nos indica que pese a no existir cambios en la potencia absoluta theta, su cantidad se redujo por el incremento de la actividad delta y beta. Al comparar la potencia relativa entre caras modificadas contra normales solo una menor cantidad de theta se observó en T3 y T5 (figura 20). El hecho que no hubiera cambios en la banda theta cuando se compararon caras modificadas contra normales, como también se encontró en la potencia absoluta, nos indica que dicha banda no toma parte en el proceso de detección de las anomalías de las caras. Este hallazgo también es sostenido por el grupo de Basar (Ozgoren et al., 2005; Basar et al., 2006, 2008).

Cuando se presentaron los estímulos de caras normales y modificadas contra la línea base, se observó una menor cantidad de actividad alfa en casi todas las áreas (figura 21), hecho semejante a lo observado con las potencias absolutas (figura 19). Este fenómeno está de acuerdo con la supresión de alfa descubierta por Hans Berger (Adrian y Matthews, 1934) la cual también ha sido reportada por varios autores (Ray y Cole, 1985; Fernández et al., 1995; Harmony et al., 1996; Fairclough et al., 2005). Cuando comparamos la potencia relativa de las caras modificadas contra las caras normales, la menor cantidad de actividad alfa se encontró en el área prefrontal (FP1 y FPz) sitio relacionado con la atención y la toma de decisiones y el área temporo-parietal izquierda (T5, P3 y Pz) (figura 21), que se ha relacionado con el procesamiento analítico de las caras (Levy et al., 1972; Damasio et al., 1982, 1999; Sergent, 1988; Rhodes, 1985). Esto último coincide con lo que encontramos para la banda delta, pero no implica que la menor actividad alfa esté directamente relacionada con la detección de anomalías de estímulos de caras.

Con respecto a la cantidad de la actividad beta, se observa un cambio cuando se comparan caras normales con respecto a la línea base, habiendo una mayor cantidad en regiones frontales y una menor cantidad en occipitales (figura 21). Este cambio también se observa cuando se comparan caras modificadas contra la línea base, teniendo un incremento en la cantidad de actividad beta en FP2 y una reducción en las regiones parieto-occipitales (figura 21). El hecho de que pese al incremento de la cantidad de actividad delta se observó un incremento de la cantidad de la actividad beta en áreas frontales, implica que hay un incremento significativo en la actividad beta en dichas áreas, lo que está de acuerdo con lo reportado por Ozgoren y sus colaboradores (2005), y por Basar y sus colaboradores (2006). Sin embargo, cuando se comparan caras modificadas contra normales se observan diferencias significativas con una menor cantidad de actividad beta en los puntos FP1, FPz y F8. Los resultados con la banda beta, indican que su incremento, en particular la región frontal, posiblemente está relacionado con la detección de las caras, y no con la detección de anomalías en los estímulos faciales.

En general, podemos observar que las potencias relativas apoyan la interpretación dada para la discusión de la potencia absoluta, en donde se sugirió que:

- d) El incremento generalizado de la actividad delta está relacionado con la atención requerida para el procesamiento de caras ya sea normal o modificada.
- e) El incremento de la actividad beta frontal se asocia con la detección de caras, ya sea normal o modificada.
- f) El incremento de la actividad delta en la región temporo-parietal izquierda se asociaría con la detección de caras modificadas.

#### **IX.4.- Relación de potencias.**

**IX.4.1.- Resultado del análisis de varianzas de medidas repetidas:** El rm-ANOVA para las relaciones de potencias generó los resultados de la tabla X, en la cual se muestran solo los factores y las interacciones en donde se obtuvieron diferencias significativas.

<b>Tabla X</b>				
Diferencias significativas encontradas para las relaciones de potencias teniendo como factores las bandas, condición y puntos homólogos.				
	<b>G.L.</b>	<b>F</b>	<b>p</b>	<b>Greenhouse-Geisser</b>
<b>BANDAS</b>	3	6.893320	<0.001	0.0019
<b>PUNTOS HOMÓLOGOS</b>	7	2.791586	0.0084	0.0400

**IX.4.2.- Resultado de la determinación de las diferencias mínimas significativas (L. S. D.):** Ya establecida la existencia de diferencias significativas, se procedió a determinar las diferencias mínimas significativas de Fisher (L.S.D) por banda y punto homólogo para las siguientes diferencias de las relaciones de potencias medias: 1) RP caras normales menos RP línea base, 2) RP caras modificadas menos RP línea base, y 3) RP caras modificadas menos RP caras normales. Estas se muestran en la tabla XI.

**Tabla XI**

Valores de la probabilidad observada para la L.S.D. de la relación de potencia para las bandas delta y beta de las diferencias: a) caras normales menos línea base, b) caras modificadas menos línea base, y c) caras modificadas menos caras normales. El símbolo “+” indican que la primera condición de la diferencia posee más RP que la segunda. El símbolo “-” indica lo contrario.

<b>BANDA DELTA</b>			
<b>Puntos Homólogos</b>	<b>normal - base</b>	<b>modificada- base</b>	<b>modificada - normal</b>
Fp2-Fp1	0.0034 (+)	<0.001 (+)	
F8-F7	0.0012 (+)	<0.001 (+)	
T6-T5	<0.001 (-)	0.0187 (-)	

<b>BANDA BETA</b>			
<b>Puntos Homólogos</b>	<b>normal - base</b>	<b>modificada- base</b>	<b>modificada - normal</b>
Fp2-Fp1	<0.001 (+)		0.0337 (-)
F8-F7		0.0107 (+)	
T4-T3	<0.001 (-)	0.0029 (-)	
T6-T5	0.0361 (-)		

Con las diferencias de los promedios de la relación de potencias y la probabilidad observada en la tabla XI se obtuvieron los mapas topográficos de la RP por banda y para cada una de las comparaciones. Para poder tener una apreciación más clara del comportamiento de los datos, las probabilidades de la tabla XI se resumen en los esquemas de los 8 puntos homólogos en la figura 22, en donde con una flecha se señalan si existe un incremento o una reducción significativa de la relación de potencias por banda con  $p < 0.05$  (flecha clara) o  $p < 0.01$  (flecha oscura).

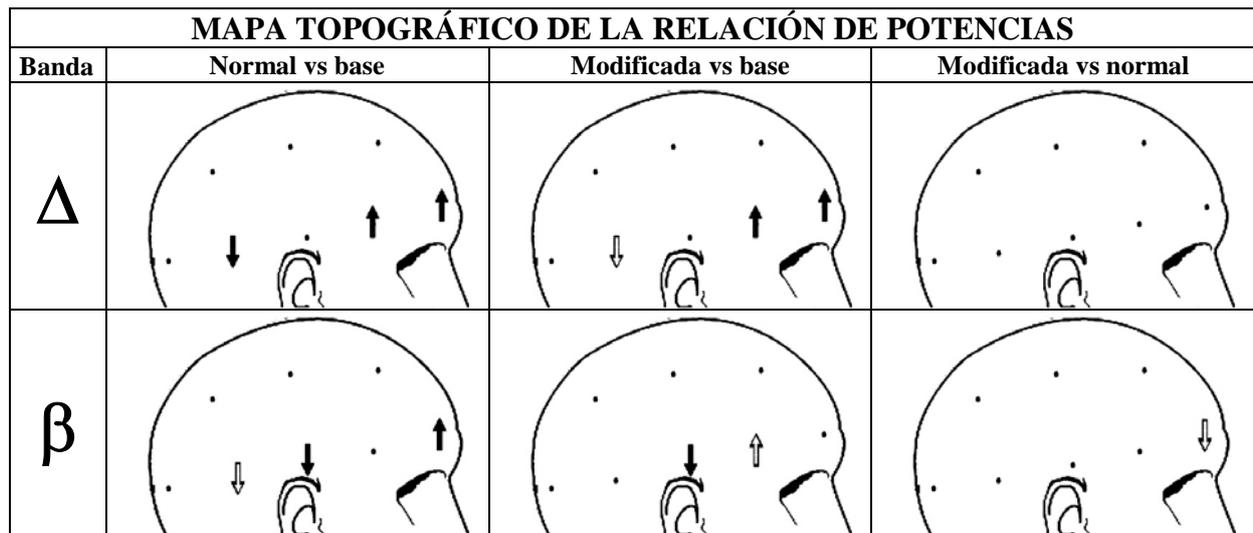


Figura 22.- Mapa topográfico de la distribución de las diferencias de las relaciones de potencias para las bandas delta y beta por punto homólogo. En la columna normal - base las flechas  $\uparrow$  indican mayor o  $\downarrow$  menor relación de potencias en caras normales con respecto a la línea base. En la columna modificada - base, las flechas  $\uparrow$  indican mayor o  $\downarrow$  menor relación de potencias en caras modificadas con respecto a la línea base. En la columna modificada - normal, las flechas  $\uparrow$  indican mayor o  $\downarrow$  menor relación de potencias en caras modificadas con respecto a caras. Símbolos:  $\uparrow\downarrow$   $p<0.01$ ,  $\uparrow\downarrow$   $p<0.05$ .

En la figura 22 observamos que para la banda delta se presentó una mayor actividad ( $p<0.01$ ) en el hemisferio derecho en las regiones prefrontal ( $Fp2>Fp1$ ) y fronto lateral ( $F8>F7$ ) cuando se comparan ambos tipos de caras contra la línea base. Mientras que una mayor actividad del hemisferio izquierdo se observó en la región temporo-parietal ( $T6<T5$ ) al comparar ambos tipos de caras contra la línea base (caras normales con  $p<0.01$ ; caras modificadas con  $p<0.05$ ). No se encontraron diferencial en las RP al comparar caras modificadas contra normales.

No se encuentran diferencias significativas en la RP para las bandas theta y alfa, esto implica que si existen asimetrías en estas bandas, éstas fueron semejantes para las tres comparaciones.

Con respecto a la banda beta (figura 22), nos encontramos con un patrón diferente para las tres comparaciones. Así, al comparar las caras normales contra la línea base se observa una mayor actividad del hemisferio derecho en la región prefrontal ( $Fp2>Fp1$ ) y del hemisferio izquierdo en la región temporal ( $T4<T3$ ,  $T6<T5$ ). Al comparar las

caras modificadas contra la línea base encontramos una mayor actividad del hemisferio derecho en la región frontal lateral (F8>F7) y del hemisferio izquierdo en la región temporal (T4<T3). Por último, al comparar caras modificadas contra normales se observa una mayor actividad del el hemisferio izquierdo en la región prefrontal (Fp2<Fp1).

**IX.4.3- Discusión de los resultados de la relación de potencias:** Hay que señalar que pese a que algunos grupos de investigación han reportado diferentes componentes de los PREs durante el procesamiento de caras localizados en áreas temporo-parietales derecha (Milivojevic et al. 2003; Carbon et al., 2005; Boutsen et al., 2006) o izquierda (Milivojevic et al. 2003; Gu et al., 2007), y que los trabajos con EEG (Ozgoren et al. 2005; Basar et al. 2006) señalan una activación bilateral ante estímulos de caras, ninguno de ellos realizó un análisis de asimetrías para explorar la diferencia entre la actividad de los hemisferios, de ahí que los resultados obtenidos en este experimento no tienen punto de comparación precisa con los reportados en la literatura. Sólo algunos artículos relacionan a las regiones frontales con el procesamiento de caras. Begleiter y sus colaboradores (1995) publicaron que para el reconocimiento de caras familiares, están involucradas tanto las regiones frontales como las temporales. Schwaninger y sus colaboradores (2002) también reportaron resultados semejantes para caras familiares, las respuestas fueron registradas en las áreas parietal, central, y prefrontal.

En nuestro experimento las mayores asimetrías se encontraron en la banda delta en el hemisferio derecho en regiones prefrontal y fronto lateral al comparar ambos tipos de caras contra la línea base, lo que implica que existe una mayor actividad en dichas regiones en el hemisferio derecho, posiblemente relacionada con un mayor reclutamiento de recursos atencionales en el procesamiento de caras como ya se ha discutido en otras secciones. Mientras que en la región temporo parietal tenemos una mayor actividad en el hemisferio izquierdo, región asociada por el procesamiento de caras, y que de acuerdo con Damasio y sus colaboradores (1982, 1999) y Sergent (1988) estaría relacionada con el procesamiento por componentes de las caras. El hecho de no observar asimetrías en la banda delta entre caras modificadas y normales podría indicar que poseen idéntica simetría en todos los puntos homólogos, siendo la PR de la banda delta una medida inadecuada para detectar modificaciones faciales.

Con referencia a las asimetrías observadas en la banda beta al comparar las caras normales contra la línea base, la mayor actividad prefrontal en el hemisferio derecho posiblemente esté relacionada con procesos atencionales relacionados con el

procesamiento de las caras, mientras que la mayor actividad en la región temporo-parietal izquierda estaría relacionada con el procesamiento mismo de la cara. Con respecto a las asimetrías observadas al comparar caras modificadas contra la línea base se observa una mayor actividad en el hemisferio derecho en la región fronto lateral, la cual podría estar relacionada con diferentes procesos como son un procesamiento lateralizado para caras con anormalidades.

Al comparar las caras modificadas contra normales se encontró una mayor actividad del hemisferio izquierdo en la zona prefrontal, debido posiblemente aún mayor reclutamiento de recursos atencionales ante el procesamiento de caras modificadas. También podría implicar que el procesamiento de las caras modificadas se asocia con una mayor dificultad en la toma de decisiones.

Es pertinente considerar el efecto que en las simetrías del EEG podría tener la referencia utilizada. Varios autores han sugerido que las orejas (o mastoides) cortocircuitadas atenúan la magnitud de las asimetrías (Miller et al., 1991; Hagemann et al., 2001), de ahí que es posible que sus diferencias quedaran enmascaradas. Sin embargo, las evidencias nos muestran que hay asimetrías en el procesamiento de las caras (normales y modificadas) con una mayor actividad prefrontal del hemisferio derecho asociada con la atención a las caras y una mayor actividad temporo-parietal del hemisferio izquierdo asociada con el procesamiento por componentes de las caras (Damasio et al., 1982, 1999; Sergent, 1988).

#### **IX.5- Comentario final.**

Indudablemente que discernir si lo observado en nuestro experimento es un procesamiento por componentes o configuracional necesita un mayor sustento experimental, sin embargo, se ajusta de forma adecuada a las evidencias neuroanatómicas proporcionadas por diferentes autores (Meadows, 1974; Clarke et al., 1997; Damasio et al., 1982; Ettlín et al., 1992), así como al esquema propuesto por Sergent (1988). Los resultados nos proporcionan evidencias que este tipo de estudio es una alternativa adecuada para el análisis de los cambios de la actividad eléctrica cerebral que producen las caras con la modificación Thatcher.

Hay que resaltar que ésta es la primera evidencia electrofisiológica utilizando las medidas espectrales del EEG del procesamiento de las caras utilizando la modificación Thatcher proporcionándonos evidencias de una actividad temporo-parietal izquierda.

## **X.- Conclusión**

- 1.- El presente estudio con las medidas espectrales del EEG, muestra que éstas son sensibles respecto a la codificación de caras normales y modificadas.
- 2.- Aparentemente, la codificación de las caras se encuentra en la banda delta, que presenta un incremento generalizado en amplitud (PA) y cantidad (PR) cuando se presentan estímulos de caras (normales o modificadas) con respecto a la línea base. Se propone que este incremento en la banda delta estaría relacionado con la atención dirigida a las caras, lo que concuerda con el trabajo de Basar y sus colaboradores (2008). Este correlato deberá ser sometido a una serie de investigaciones electrofisiológicas exhaustivas en donde se presenten caras con distintas modificaciones (Thompson, Blair, etc.).
- 3.- El incremento de actividad delta en áreas frontales y temporo-parietal izquierda cuando se comparan caras modificadas contra normales, pudiera estar involucrado con la detección de anomalías en las caras, en particular con un procesamiento de los componentes de las caras. Esto también debe someterse a una serie de investigaciones electrofisiológicas exhaustivas en donde se presenten estímulos de caras con anomalías en sus componentes. Hay que señalar que este resultado es la primera evidencia electrofisiológica del procesamiento por componentes de caras que se reporta.
- 4.- Otro hallazgo es la reducción de la actividad alfa que es un fenómeno conocido. La reducción tanto de la amplitud (PA) como de la cantidad (PR) de alfa ante la presentación de los estímulos estudiados probablemente está relacionada con la atención prestada al estímulo en sí y no con el procesamiento de caras.
- 5.- También nuestros resultados muestran un incremento tanto en amplitud como en cantidad de la actividad beta frontal, este incremento parece estar asociado con el procesamiento de caras.
- 6.- Los valores de la relación de potencias encontrados apoya una asimetría en la región temporo-parietal asociada con el procesamiento de caras, semejante para ambos tipos de caras. Sin embargo, debe aclararse en futuras investigaciones la función que tiene cada hemisferio, utilizando tanto las medidas espectrales de banda estrecha como los potenciales relacionados a eventos.

## **XI.- Bibliografia**

1. Adrian, E. D., and Matthews, B. H. C. (1934) The Berger rhythm: potential changes from the occipital lobe of man. *Brain*. 57: 354-385.
2. Aguirre, G. K., Singh, R., and D'Esposito, M. (1999) Stimulus inversion and the responses of face and object-sensitive cortical areas. *NeuroReport*. 10: 189–194.
3. Anstis, S. (2005) Last but not least. *Perception*, 34, 1417-1420
4. Avidan, G., and Behrmann, M. (2009) Functional MRI Reveals Compromised Neural Integrity of the Face Processing Network in Congenital Prosopagnosia. *Current Biology*. 19, 1–5.
5. Avidan, G., Hasson, U., Malach, R., and Behrmann, M. (2005) Detailed exploration of face-related processing in congenital prosopagnosia: 2. Functional neuroimaging findings. *J. Cogn. Neurosci*. 17: 1150–1167.
6. Bartlett, J. C., and Searcy, J. (1993). Inversion and configuration of faces. *Cognitive Psychology*, 25(3): 281-316.
7. Barton, J. J. (2003) Disorders of face perception and recognition. *Neurol. Clin*. 21: 521–548.
8. Basar, E., Güntekin, B. and Öviz, A. (2006) Principles of oscillatory brain dynamics and a treatise of recognition of faces and facial expressions. *Progress in Brain Research*, Vol. 159: 43-62.
9. Basar, E., Ozgoren, M., Karakas, S., and Basar-Eroglu, C. (2004) Supersynergy in the brain: grandmother percept is manifested by multiple oscillations. *Int. J. Bifurcation and Chaos*. 14: 1– 38.
10. Basar, E., Schmiedt-Fehr, C., Öviz, A., and Basar-Eroglu, C. (2008) Brain oscillations evoked by the face of a loved person. *Brain Research*. 1214: 105-115.
11. Begleiter, H., Porjesz, B., and Wang, W. (1995) Event-related brain potentials differentiate priming and recognition to familiar and unfamiliar faces. *Electroencephalogr. Clin. Neurophysiol*. 94: 41– 49.
12. Behrmann, M., Avidan, G., Marotta, J. J., and Kimchi, R. (2005) Detailed exploration of face-related processing in congenital prosopagnosia: 1. Behavioral findings. *J. Cogn. Neurosci*. 17: 1130–1149.

13. Bentin, S., Allison, T., Puce, A., Perez, E., and McCarthy, G., (1996) Electrophysiological studies of face perception in humans. *J. Cogn. Neurosci.* 8: 551– 565.
14. Bentin, S., Degutis, J. M., D’Esposito, M., and Robertson, L.C. (2007) Too many trees to see the forest: Performance, event-related potential and functional magnetic resonance imaging manifestations of integrative congenital prosopagnosia. *J. Cogn. Neurosci.* 19: 132–146.
15. Bentin, S., Deouell, L. Y., and Soroker, N. (1999) Selective visual streaming in face recognition: Evidence from developmental prosopagnosia. *NeuroReport.* 10: 823–827.
16. Bentin, S., Sagiv, N., Mecklinger, A., Friederici, A., von Cramon, Y. D. (2002) Priming visual face-processing mechanisms: electrophysiological evidence. *Psychol. Sci.* 13: 190– 193.
17. Bötzel, K., Schulze, S., and Stodieck, R. G. (1995) Scalp topography and analysis of intracranial sources of face-evoked potentials. *Exp. Brain Res.* 104: 135–143.
18. Boutsen, L., and Humphreys, G. W. (2003) The effect of inversion on the encoding of normal and “thatcherized” faces. *Q. J. Exp. Psychol.* 56A: 955– 975.
19. Boutsen, L., Humphreys, G., Praamstra, P., and Warbrick, T. (2006) Comparing neural correlates of configural processing in faces and objects: An ERP study of the Thatcher illusion. *NeuroImage.* 32: 352 – 367.
20. Bruce, C., Desimone, R., and Gross, C. (1981) Visual properties of neurons in a polysensory area in superior temporal sulcus of the macaque. *J. Neurophysiol.* 46: 369-84.
21. Bruce, V., Doyle, T., Dench, N., and Burton, M. (1991) Remembering facial configurations. *Cognition.* 38: 109-144.
22. Bruyer, R. (1988) El reconocimiento de los rostros. *Mundo Científico.* N° 83 Vol. 8: 880-890.
23. Burgess, A. P., and Ali, L. (2002) Functional connectivity of gamma EEG activity is modulated at low frequency during conscious recollection. *Int. J. Psychophysiol.* 46: 91– 100.

24. Carbon, C. C., Schweinberger, S. R., Kaufmann, J. M., and Leder, H. (2005) The Thatcher illusion seen by the brain: an event-related brain potentials study. *Cogn. Brain Res.* 24: 544–555.
25. Clarke, S., Lindemann, A., Maeder, P., and Borrost, F. (1997) Face recognition and postero-inferior hemispheric lesions. *Neuropsychologia* 35: 1555-1563.
26. Cooley, J. W., and Tukey, J. W. (1965) An algorithm for machine calculation of complex Fourier series. *Math Computation.* 19: 297-301.
27. Damasio A., Damasio H, and van Hoesen G. W. (1982) Prosopagnosia: anatomic basis and behavioral mechanisms. *Neurology.* 32: 331-341.
28. Damasio, A. (1992) Cortical systems underlying memory in humans. *Proceedings of the course on neuropsychology: the neuronal basis of cognitive function. International School of Neuroscience.* 3<sup>ed</sup>. New York: Thieme. p. 185-194.
29. Damasio, A. (1996) *El error de Descartes.* Editorial Andrés Bello. Chile.
30. Damasio, A. (2000) *Sentir lo que sucede.* Editorial Andrés Bello. Chile.
31. Damasio, A., and Damasio, H. (1986) The anatomical substrate of prosopagnosia. In Bruyer, R., (ed). *The neuropsychology of Face perception and facial expression.* Hillsdale: Erlbaum. p. 31-38.
32. Damasio, A., Tranel, D., and Damasio, H. (1999) Face agnosia and the neural substrates of memory. *Annu Rev Neurosci* 13: 89-109.
33. Diamond, R., and Carey, S. (1986) Why faces are and are not special: An effect of expertise. *Journal of Experimental Psychology: General,* 115, 107-117.
34. Dietsch, G. (1932) Fourier Analyse von electroneurogrammen des menschen. *Pfluegers Arch.* 230: 106-112.
35. Dobel, C., Bolte, J., Aicher, M., and Schweinberger, S. R. (2007) Prosopagnosia without apparent cause: Overview and diagnosis of six cases. *Cortex.* 43: 718–733.
36. Duchaine, B. C., Dingle, K., Butterworth, E., and Nakayama, K. (2004) Normal greeble learning in a severe case of developmental prosopagnosia. *Neuron.* 43: 469–473.
37. Edmonds, A. J., and Lewis, M. B. (2007) The effect of rotation on configural encoding in a face-matching task. *Perception,* 36: 446–460.
38. Eimer, M. (1998) Does the face-specific N170 component reflect the activity of a specialized eye processor. *NeuroReport.* 9: 2945– 2948.

39. Eimer, M. (2000a) Event-related brain potentials distinguish processing stages involved in face perception and recognition. *Clin. Neurophysiol.* 111: 694– 705.
40. Eimer, M. (2000b) Effects of face inversion on the structural encoding and recognition of faces: evidence from event-related brain potentials. *Cogn. Brain Res.* 10: 145– 158.
41. Ekman, P. (1992) *Emotion in the human face.* Cambridge: Cambridge University Press.
42. Ettlin, T. M., Beckson, M., Benson, D. F., Langfitt, J. T., Amos, E. C., and Pineda, G. S. (1992) Prosopagnosia: a bihemispheric disorder. *Cortex.* 28: 129-134.
43. Fagan, J. F. (1976) Infants' recognition of invariant features of faces. *Child Dev* 47: 627-38.
44. Fairclough, S. H., Venables, L., and Tattersall, A. (2005) The influence of task demand and learning on the psychophysiological response. *International Journal of Psychophysiology* 56: 171– 184.
45. Farah, M. J., Tanaka, J. W., and Drain, H. M. (1995) What causes the face inversion effect? *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance.* 21:, 628-634.
46. Fernández, T., Harmony, T., Rodríguez, M., Bernal, J., Silva, J., Reyes, A., and Marosi, E. (1995) EEG activation patterns during the performance of tasks involving different components of mental calculation. *Electroencephalogr. Clin. Neurophysiol.* 94: 175-182.
47. George, N., Evans, J., Fiori, N., Davidoff, J., and Renault, B. (1996) Brain events related to normal and moderately scrambled faces. *Cogn. Brain Res.* 4: 65-76.
48. Goldstein, A. G., and Chance, J. E. (1980) Memory for faces and schema theory. *Journal of Psychology.*105: 47-59.
49. Gross, C. G. (1992) Representation of visual stimuli in inferior temporal cortex. In Bruce, V., Cowey, A., Young, A. W., and Perret, D. I. (eds) *Processing the facial image.* Oxford; Clarendon Press. p. 3-10.
50. Gu, X., Li, Y., Yang, X., and Zhu, Y. (2007) Spatial-temporal analysis of face processing using an ERP study of the Thatcher illusion. *Conf. Proc. IEEE Eng. Med. Biol. Soc.* 2496-2499.

51. Gundel, A., and Wilson, G. F. (1993) Topographical changes in the ongoing EEG related to the difficulty of mental tasks. *Brain Topogr.* 5: 17-25.
52. Haenschel, C., Baldeweg, T., Croft, R.J., Whittington, M., and Gruzelier, J. (2000) Gamma and beta frequency oscillations in response to novel auditory stimuli: a comparison of human electroencephalogram (EEG) data with in vitro models. *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.* 20. 97 (13): 7645– 7650.
53. Hagemann, D., Naumann, E., and Thayer, J. F. (2001) The quest for the EEG reference revisited: A glance from brain asymmetry research. *Psychophysiology.* 38(5): 847-857.
54. Haig, N. D. (1984) The effect of feature displacement on face recognition. *Perception.* 13(5): 505-512
55. Harmony, T. (1984) *Neurometric Assessment of Brain Dysfunction in Neurological Patients.* Lawrence Erlbaum Associates Publishers. Hillsdale New Jersey. Londres.
56. Harmony, T., Fernandez, T., Silva, J., Bernal, J., Diaz, L., Reyes, A., Marosi, E., Rodriguez, M., and Rodriguez, M. (1996) EEG delta activity: an indicator of attention to internal processing during performance of mental tasks. *International Journal of Psychophysiology.* 24(1-2): 161-171.
57. Hasselmo, M. E., Rolls, E. T., and Baylis, C. G. (1989a) The role of expression and identity in the face-selective responses of neurons in the temporal visual cortex of the monkey. *Behav. Brain Res.* 32: 203-218.
58. Hasselmo, M. E., Rolls, E. T., Baylis, C. G., and Nalwa, V. (1989b) Object-centered encoding by face-selective neurons in the cortex in the superior temporal sulcus of the monkey. *Exp. Brain Res.* 75: 417-429.
59. Haxby, J. V., Hoffman, E. A., and Gobbini, M. I. (2000) The distributed human neural system for face perception. *Trends Cogn. Sci.* 4: 223–233.
60. Haxby, J. V., Ungerleider, L. G., Clark, V.P., Scouten, J. L., Hoffman, E. A., and Martin, A. (1999) The effect of face inversion on activity in human neural systems for face and object perception. *Neuron.* 22: 189– 199.
61. Hughes, J. R., and Roy, J. E, (1999) *Conventional and Quantitative Electroencephalography in Psychiatry.* *The Journal of Neuropsychiatry and Clinical Neurosciences.* 11: 190-208.

62. Inouye, T., Shinosaki, K., Iyama, A., and Matsumoto, Y. (1993) Localization of activated areas and directional EEG patterns during mental arithmetic. *Electroencephalogr. Clin. Neurophysiol.* 86: 224-230.
63. Ishai, A. (2008) Let's face it: It's a cortical network. *Neuroimage* 40, 415–419.
64. Itier, R. J., and Taylor, M. J. (2004a) N170 or N1? Spatiotemporal differences between object and face processing using ERPs. *Cereb. Cortex.* 14: 132– 142.
65. Itier, R. J., and Taylor, M. J. (2004b) Effects of repetition on upright, inverted, and contrast-reversed face processing using ERPs. *NeuroImage.* 21: 1518–1532.
66. 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.
67. Jazayeri, M., Zhang, L., and Skinner, F. K. (2001) A dynamical feedback mechanism for the generation of hippocampal field rhythms. *Neurocomputing.* Vol. 38-40: 683-689.
68. Kemp, R., McManus, C., and Pigott, T. (1990) Sensitivity to the displacement of facial features in negative and inverted images. *Perception.* 19: 531-543.
69. Klimesch, W., Schimke, H., and Schwaiger, J. (1994) Episodic and semantic memory: an analysis in the EEG theta and alpha band. *Electroencephalogr. Clin. Neurophysiol.* 91: 428-441.
70. Leder, H., and Bruce, V. (2000). When inverted faces are recognized: The role of configural information in face recognition. *Quarterly Journal of Experimental Psychology.* 53A: 513-536.
71. Leder, H., Candrian, G., Huber, O., and Bruce, V. (2001) Configural features in the context of upright and inverted faces. *Perception.* 30: 73-83.
72. Levy, J., Trevarthen, C., and Sperry, R. W. (1972) Perception of bilateral chimeric figures following hemispheric deconnexion. *Brain.* 95: 61-78.
73. Levy, W. J. (1987) Effect of epoch length on power spectrum analysis of the EEG. *Anesthesiology.* 66: 489-495.
74. Linkenkaer-Hansen, K., Nikouline, V. V., Palva, J. M., and Ilmoniemi, R. J. (2001) Long-range temporal correlations and scaling behavior in human brain oscillations. *J. of Neuroscience,* 21(4):1370-1377.
75. Linkenkaer-Hansen, K., Smit, D. J. A., Barkil, A., van Beijsterveldt, T. E. M., Brussaard, A. B., Boomsma, D. I., van Ooyen, A., and de Geus, E. J. C. (2007)

- Genetic contribution to long range temporal correlations in ongoing oscillations. *J. of Neuroscience*. 27 (59): 13882-13889.
76. Llinás, R. R. (1988) The intrinsic properties of mammalian neurons: insights into central nervous system function. *Science*. 242: 1654-1664.
  77. Lobmaier, J. S., and Mast, F. W. (2007) The Thatcher illusion: Rotating the viewer instead of the picture. *Perception*. 36: 537-546.
  78. Lopes da Silva, F. H. (1996) The generation of electric and magnetic signals of the brain by local networks. In Windhorst, G. R. U. (ed.) *Comparative Human Physiology*. Springer-Verlag. Berlin, pp 509-531.
  79. Marrufo, M. V., Vaquero, E., Cardoso, M. J., and Gomez, C. M. (2001) Temporal evolution of  $\alpha$  and  $\beta$  bands during visual spatial attention. *Cogn. Brain Res.* 12: 315– 320.
  80. McCormick, D. A. (1992) Neurotransmitter actions in the thalamus and cerebral cortex and their role in neuromodulation of thalamocortical activity. *Prog. Neurobiol.* 39: 337-388.
  81. Meadows, J. C. (1974) The anatomical basis of prosopagnosia. *J Neurol Neurosurg Psychiatry*. 37: 489-501.
  82. Milivojevic, B., Clapp, W. C., Johnson, B. W., and Corballis, M. C. (2003) Turn that frown upside down: ERP effects of thatcherization of misoriented faces. *Psychophysiology*. 40: 967– 978.
  83. Miller, G. A., Lutzenberger, W., and Elbert, T. (1991) The linked-reference issue in EEG and ERP recording. *Journal of Psychophysiology*. 5: 273-276.
  84. Müller, G. R., Neuper, C., Rupp, R., Keinrath, C., Gerner, H. J., and Pfurtscheller, G. (2003) Event-related beta EEG changes during wrist movements induced by functional electrical stimulation of forearm muscles in man. *Neurosci. Lett.* 340: 143– 147.
  85. Muñoz, C., y Jiménez, J. (2001) Potenciales evocados I: Introducción. *Revista Mexicana de Ingeniería Biomédica*. Vol. XXII. N°2: 101-106.
  86. Murray, J. E., Yong, E., and Rhodes, G. (2000) Revisiting the perception of upside-down faces. *Psychological Science*. 11: 498-502.
  87. Olivares, E. I., Iglesias, J., and Bobes, M. A. (1999) Searching for face-specific long latency ERPs: a topographic study of effects associated with mismatching features. *Cogn. Brain Res.* 7: 343-356.

88. Olivares, E. I., e Iglesias J. (2000) Bases neurales de la percepción y el reconocimiento de caras. *Rev. Neurol.* 30: 946-952.
89. Ozgoren, M., Basar-Eroglu, C., and Basar, E. (2005) Beta oscillations in face recognition. *International Journal of Psychophysiology.* 55: 51– 59
90. Perret, D. I., Rolls, E. T., and Caan, W. (1982) Visual neurons responsive to faces in the monkey temporal cortex. *Exp. Brain Res.* 47: 329-42.
91. Pitcher, D., Walsh, V., Yovel, G., and Duchaine, B. (2007) TMS evidence for the involvement of the right occipital face area in early face processing. *Curr. Biol.* 17: 1568–1573.
92. Rampil, I. J. (1998) A primer for EEG signal processing in anesthesia. *Anesthesiology.* 89: 980-1002.
93. Ray, W. J., and Cole, H. W. (1985) EEG alpha activity reflects attentional demands, and beta activity reflects emotional and cognitive processes. *Science.* 228: 750– 752.
94. Rhodes, G. (1985) Lateralized processes in face recognition. *Br. J. Psychol.* 76: 249-271.
95. Rhodes, G., Brake, S., and Atkinson, A. P. (1993) What's lost in inverted faces? *Cognition.* 47: 25-57.
96. Ricardo, J., y Rueda W. (2009) Electroencefalograma y potenciales relacionados con eventos en el trastorno obsesivo compulsivo. *Salud Mental.* 31:173-181.
97. Rolls, E. T. (1992) Neurophysiological mechanisms underlying face processing within and beyond the temporal cortical visual areas. In Bruce, V., Cowey, A., Young, A. W., and Perret, D. I. (eds.) *Processing the facial image.* Oxford: Clarendon Press. pp. 11-21.
98. Rossion, B., Caldara, R., Seghier, M., Schuller, A. M., Lazeyras, F., and Mayer, E. (2003) A network of occipito-temporal face-sensitive areas besides the right middle fusiform gyrus is necessary for normal face processing. *Brain.* 126: 2381–2395.
99. Rossion, B., Gauthier, I., Tarr, M. J., Despland, P., Bruyer, R., Linotte, S., and Crommelinck, M. (2000) The N170 occipito-temporal component is delayed and enhanced to inverted faces but not to inverted objects: an electrophysiological account of face-specific processes in the human brain. *NeuroReport.* 11: 69–74.

100. Rossion, B., Joyce, C. A., Cottrell, G. W., and Tarr, M. J., (2003) Early lateralization and orientation tuning for face, word, and object processing in the visual cortex. *NeuroImage*. 20: 1609– 1624.
101. Rotshtein, P., Malach, R., Hadar, U., Graif, M., and Hendler, T., (2001) Feeling or features: different sensitivity to emotion in high-order visual cortex and amygdala. *Neuron*. 32: 747– 757.
102. Sagiv, N., and Bentin, S. (2001) Structural encoding of human and schematic faces: holistic and part-based processes. *J. Cogn. Neurosci.* 13, 937– 951.
103. Schwaninger, A., and Mast, F. (1999) Why is face recognition so orientation-sensitive? Psychophysical evidence for an integrative model. *Perception*. (Suppl.). 28: 116.
104. Schwaninger, A., Carbon, C. C., and Leder, H. (2003) Expert face processing: Specialization and constraints. In Schwarzer, G., and Leder, H., (eds) *Development of face processing*, Göttingen: Hogrefe. pp. 81-97
105. Schwaninger, A., Lobmaier, J., and Collishaw, S. M. (2002) Role of featural and configural information in familiar and unfamiliar face recognition. *Lecture Notes in Computer Science*. 2525: 643-650.
106. Searcy, J. H., and Bartlett, J. C. (1996) Inversion and processing of component and spatial relational information of faces. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*. 22: 904-915.
107. Sergent, J. (1984) An investigation into component and configurational processes underlying face recognition. *British Journal of Psychology*. 75: 221-242.
108. Sergent, J. (1988) Face perception: underlying process and hemispheric contribution. In Denes, G., Semenza, C., Bisiacchi, P., and Andreewsky, A., (eds.) *Perspectives on cognitive neuropsychology*. Hillsdale: Erlbaum. pp. 3-30.
109. Serrano, J. M., Iglesias, J., and Loeches, A. (1995) Infant's responses to adult facial expressions. *Infant. Behav. Dev.* 18: 477-482
110. StatSoft, Inc. (2001) *STATISTICA* (data analysis software system), version 6. [www.statsoft.com](http://www.statsoft.com).
111. Steriade, M., Contreras, D., Curro Dossi, R., and Nuñez, A. (1993) The slow oscillation in reticular thalamic. The slow oscillation in reticular thalamic and thalamocortical neurons: Scenario of sleep rhythm generation in interacting thalamic and neocortical networks. *J. Neurosci.* 13: 3284-3299.

112. Steriade, M., Gloor, P., Llinás, R. R., Lopes de Silva, F. H., and Mesulam, M. M. (1990) Basic mechanisms of cerebral rhythmic activities. *Electroencephalogr. Clin. Neurophysiol.* 76: 481-508.
113. Stürzel, F., and Spillmann, L. (2000) Thatcher illusion: dependence on angle of rotation. *Perception.* 29: 937– 942.
114. Takabashi, N., Kawamura, M., Hirayama, K., Shiota, J., and Isono, O. (1995) Prosopagnosia: a clinical and anatomical study of four patients. *Cortex.* 31: 317-329.
115. Tanaka, J. W. (2001a) The entry point of face recognition: Evidence for face expertise. *Journal of Experimental Psychology: General.* 130: 534-543.
116. Tanaka, J. W. (2001b) A neural basis for expert object recognition. *Psychological Science.* 12: 43-47
117. Tanaka, J. W., and Farah, M. (1993) Parts and wholes in face recognition. *Quarterly Journal of Experimental Psychology.* 46: 225-245
118. Tanaka, J. W., and Sengco, J. A. (1997) Features and their configuration in face recognition. *Memory and Cognition.* 25: 583-592.
119. Taylor, M. J., McCarthy, G., Saliba, E., and Degiovanni, E. (2001) ERP evidence of developmental changes in processing of faces. *Clin. Neurophysiol.* 110: 910–915.
120. Thatcher, R. W., McAlaster, R., Lester, M. L., Horst, R. L. and Cantor, D. S. (1983) Hemispheric EEG asymmetries related to cognitive functioning in children. In: Perecuman, A., (ed.) *Cognitive processing in the right hemisphere.* Academic Press. New York.
121. Thatcher, R. W., North, D., and Biver, C. (2005) EEG and intelligence: Relations between EEG coherence, EEG phase delay and power. *Clinical Neurophysiology.* 116: 2129–2141.
122. Thatcher, R. W., Walker, R. A., Biver, C. J., North, D. M., and Curtin, R. (2003) Sensitivity and specificity of an EEG normative database: Validation and Clinical Correlation. *J. Neurotherapy.* 7(3/4): 87-121.
123. Thomas, C., Avidan, G., Humphreys, K., Jung, K., Gao, F., and Behrmann, M. (2009) Reduced structural connectivity in ventral visual cortex in congenital prosopagnosia. *Nat. Neurosci.* 12: 29–31.
124. Thompson, P. (1980) Margaret Thatcher: a new illusion. *Perception.* 9: 483-484.

125. Thorpe, S. J., and Fabre-Thorpe, M. (2001) Seeking categories in the brain. *Science*. 12: 260-263
126. Toveé, M. J., Rolls, E. T., and Azzopardi, P. (1994) Translation invariance in the responses to faces of single neurons in the temporal visual cortical areas of the alert macaque. *J. Neurophysiol.* 72: 1049-1060.
127. Valentino, D. A., Arruda, J. E., and Gold, S. M. (1993) Comparison of QEEG and response accuracy in good vs poorer performers during a vigilance task. *Int. J. Psychophysiol.* 15: 123-134.
128. Vogel, W., Broverman, D. M., and Klaiber, E. L. (1968) EEG and mental abilities. *Electroencephalogr. Clin. Neurophysiol.* 24: 166-175.
129. Whittington, M.A., Traub, R.D., Kopell, N., Ermentrout, B., and Buhl, E.H. (2000) Inhibition-based rhythms: experimental and mathematical observations on network dynamics. *Int. J. Psychophysiol.* 38 (3): 315–336.
130. Wrobel, A. (2000) Beta activity: a carrier for visual attention. *Acta Neurobiol. Exp. (Wars)*. 60 (2): 247– 260.
131. Young, A. W., Hellawell, D., and Hay, D. E. (1987) Configurational information in face perception. *Perception*. 16: 747-59.