



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**  
**MAESTRÍA EN CIENCIAS (NEUROBIOLOGÍA)**  
**INSTITUTO DE NEUROBIOLOGÍA**

**ESTUDIO DE LA RESPUESTA HEMODINÁMICA EN LA ÍNSULA Y CORTEZA  
PREFRONTAL EN UN MODELO DE COMPASIÓN POR RESONANCIA  
MAGNÉTICA FUNCIONAL**

**TESIS**  
**QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:**  
**MAESTRA EN CIENCIAS (NEUROBIOLOGÍA)**

**PRESENTA:**  
**PSIC. GERALDINE RODRÍGUEZ NIETO**

**TUTOR**  
**DR. FERNANDO A. BARRIOS ÁLVAREZ**  
**INSTITUTO DE NEUROBIOLOGÍA, UNAM**

**COMITÉ TUTOR**  
**DRA. BERTA GONZÁLEZ FRANKENBERGER**  
**DR. MANUEL SALAS ALVARADO**  
**INSTITUTO DE NEUROBIOLOGÍA, UNAM**

**MÉXICO, DICIEMBRE, 2013**



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**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.



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**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.

**Universidad Nacional Autónoma de México**

**Instituto de Neurobiología**

Los miembros del Comité Tutorial certificamos que la tesis elaborada por: Geraldine Rodríguez Nieto , cuyo título es: “ESTUDIO DE LA RESPUESTA HEMODINÁMICA EN LA ÍNSULA Y CORTEZA PREFRONTAL EN UN MODELO DE COMPASIÓN POR RESONANCIA MAGNÉTICA FUNCIONAL” se presenta como uno de los requisitos para obtener el grado de Maestría en Ciencias (Neurobiología) y cumple con los criterios de originalidad y calidad requeridos por la División de Estudios de Posgrado de la Universidad Nacional Autónoma de México.

**Firma**

**Presidente**

**Dr. Hugo Merchant Nancy** \_\_\_\_\_

**Secretario (Tutor)**

**Dr. Manuel Salas Alvarado** \_\_\_\_\_

**Vocal**

**Dr. Roberto Emmanuele Mercadillo Caballero** \_\_\_\_\_

**Suplente**

**Dr. Erick Humberto Pasaye Alcaraz** \_\_\_\_\_

**Suplente**

**Dr. Víctor Hugo De Lafuente Flores** \_\_\_\_\_

**Aprobado por el Comité Académico**

\_\_\_\_\_

**Dra. Ma. Teresa Morales Guzmán**

**Coordinadora del Programa**

## **RESUMEN**

La compasión es la capacidad de sentir pena o aflicción por el sufrimiento de otro y que se ve acompañada por el deseo de aliviar o subsanar dicho dolor o pena; resulta importante como proceso anticipatorio de conductas prosociales. El objetivo fue indagar cómo se procesa e integra la información de los componentes afectivo y cognoscitivo de la compasión en hombres y mujeres.

**MUESTRA:** 36 adultos sanos (21 mujeres y 15 hombres, edad promedio=33 años).

**MÉTODO:** Se usó resonancia magnética funcional para detectar la actividad cerebral de los voluntarios cuando eran expuestos a: imágenes inductoras de compasión, imágenes sociales y objetos neutros. Se analizó el porcentaje de cambio en la respuesta hemodinámica de la corteza prefrontal, la ínsula y el cíngulo anterior, así como su conectividad funcional.

**RESULTADOS:** Se observó que el porcentaje de cambio de la respuesta hemodinámica en la corteza opercular, el giro frontal inferior y la ínsula era mayor en mujeres.

Los hombres mostraron mayor conectividad funcional desde la corteza orbitofrontal, la corteza insular y la corteza del cíngulo anterior y las mujeres desde la corteza prefrontal dorsomedial.

**CONCLUSIONES:** Las mujeres parecen mostrar una mayor reactividad emocional. Hombres y mujeres procesan diferencialmente la información relacionada a la inferencia de estados mentales, la autorregulación, los estados somatoviscerales y la emisión de juicios morales durante una respuesta compasiva. Este conocimiento puede resultar de utilidad en la promoción de conductas prosociales y en el entendimiento de la disrupción de procesamientos morales.

## **SUMMARY**

Compassion is the capacity to feel sorrow or sadness elicited by other's pain or disgrace and it is accompanied by the motivation to alleviate the suffering party; part of its importance relies on its role to promote prosocial behaviour. The aim of this study was to investigate how affective and cognitive components of compassion are processed and integrated in men and women.

**SAMPLE:** 36 healthy adults (21 women, 15 men; mean age=33 years old).

**METHOD:** Functional magnetic resonance was used to detect the brain activity of volunteers being exposed to: compassion inducing pictures, neutral objects pictures and neutral social pictures. Percent signal change of hemodynamic response was extracted from prefrontal cortex, insula and cingulated cortex. Functional connectivity analyses were performed for these regions as well.

**RESULTS:** Women showed significantly more percent signal change in inferior frontal gyrus pars opercularis, opercular and insular cortex. Men showed more connectivity from orbitofrontal, insular and anterior cingulated cortices, while women showed more connectivity from dorsomedial prefrontal cortex.

**CONCLUSIONS:** Women seem to present a major emotional reactivity. Women and men process in a different manner information related to inference of mental states, self-regulation, somatovisceral perception and moral judgment during a compassionate response. These results could be used to promote prosocial behavior and to better understand the moral processing disruption.

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco los apoyos económicos institucionales, ordinarios y extraordinarios, que favorecieron mi formación académica y profesional.

El Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT).

Becario No: 407644.

La Dirección General de Estudios de Posgrado y al Programa de Apoyo de Estudio de Posgrado de la UNAM.

Becario No. (número de cuenta): 098002685

Al personal de la Unidad de Resonancia Magnética del Instituto de Neurobiología, UNAM. En particular a:

Dr. Erick Humberto Pasaye Alcaraz.

M. en C. Leopoldo González Santos.

M. en C. Juan José Ortiz Retana.

Lic. Edgar Morales Ramírez.

Al personal administrativo del INB, en especial a la M. en C. Leonor Casanova.

La presente obra puede verse como el reflejo indirecto de muchas motivaciones y esfuerzos cuyo trasfondo va más allá de un trabajo de dos años.

Por este motivo, va dedicada a mis padres, a mis hermanas y a toda mi familia, por su constante apoyo, motivación y cariño. De la misma manera, dedico este trabajo a todas aquellas personas que con su amor y compromiso inspiran la labor diaria y la construcción del futuro.

Agradezco al Dr. Fernando Barrios por abrirme las puertas de su laboratorio, por apoyar de diferentes maneras mi formación profesional, por sus enseñanzas y sus consejos.

A los miembros de mi Comité Tutor por sus valiosas aportaciones. A la Dra. Berta González Frankenberger, por su gran entusiasmo, y al Dr. Manuel Salas Alvarado, por su fuerte compromiso, y a ambos por su análisis crítico y constructivo.

Asimismo, agradezco a los revisores de esta tesis. Al Dr. Erick Passaye y al Dr. Victor de Lafuente, cuyas observaciones contribuyeron de modo importante para la calidad final del escrito. De modo particular, agradezco al Dr. Roberto Mercadillo, por su asesoría y su apoyo en estos años.

Por último, agradezco con mucho aprecio a todos los miembros de los laboratorios C-12 y C-13, y a otros compañeros del instituto, por brindarme su apoyo, su amistad e inspiración con su constante dedicación y amor por su trabajo.



# ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN .....	1
2. ANTECEDENTES.....	3
2.1 ¿QUÉ ES LA COMPASIÓN Y CÓMO LA ENTENDEMOS? .....	3
2.1.1 La compasión como emoción moral.....	5
2.1.2 Factores sociales que intervienen en la emisión de la compasión y de conductas relacionadas.....	6
2.2 NEUROBIOLOGÍA DE LA COMPASIÓN.....	7
2.2.1 Evolución, medio químico y estructuras subyacentes.....	7
2.2.2 Las dos vías: la cognoscitiva y la afectiva .....	10
2.2.3 Corteza prefrontal, corteza insular y corteza del cíngulo anterior.....	15
2.3. ESTUDIO DE LA COMPASIÓN MEDIANTE NEUROIMAGEN.....	21
2.3.1 Resonancia magnética y señal BOLD.....	22
2.3.2 Compasión y estudios de neuroimagen.....	27
2.3.3 Diferencias de género.....	32
2.3.4 Conectividad funcional.....	34
3. JUSTIFICACIÓN.....	36
4. HIPÓTESIS.....	37
5. OBJETIVOS.....	37
6. METODOLOGÍA.....	38
7. RESULTADOS.....	44
8. DISCUSIÓN.....	55
9. CONCLUSIONES .....	67
10. REFERENCIAS .....	69
11. ANEXOS.....	79

## 1. INTRODUCCIÓN

El entendimiento de los estados mentales y la compenetración relativa con el estado afectivo del otro son mecanismos fundamentales para una interacción social efectiva y para el fortalecimiento de relaciones entre miembros de una comunidad. El abordaje multidisciplinar de estos procesos puede permitirnos explicar mejor los casos donde existe ruptura de tales mecanismos y que desembocan en conductas antisociales y/o en una convivencia social dañina.

Durante las últimas décadas ha sido posible estudiar los correlatos neuronales de diferentes procesos cognoscitivos de manera no invasiva en seres humanos gracias a las técnicas de neuroimagen. El estudio de las emociones morales, entre ellas la compasión, no ha sido la excepción.

Si bien, mediante técnicas de neuroimagen y estudios de pacientes con daño cerebral se ha logrado caracterizar parte de los sustratos neurológicos de estos procesos, es necesario seguir indagando para que pueda conducirse este conocimiento de manera exitosa al terreno práctico, como en el tratamiento de patologías de orden afectivo (*vgr.* trastorno antisocial de la personalidad), en prácticas forenses o influir en políticas que favorezcan la prevención y tratamiento de alteraciones psicológicas. Hasta ahora, el conocimiento generado ha ayudado a desarrollar y apoyar programas educativos innovadores que consideran el desarrollo de autoregulación emocional y el entendimiento de la perspectiva de otra persona, como parte integral de la formación de niños en edad preescolar.

La presente investigación se ciñe dentro del marco de una serie de estudios sobre la empatía y la compasión y se aboca a estudiar la integración de diferentes componentes de la compasión (de tipo afectivo y cognoscitivo), así como las diferencias existentes en la experiencia compasiva entre hombres y mujeres.

Esto fue posible a través del uso de dos técnicas para resonancia magnética funcional: porcentaje de cambio en la respuesta hemodinámica y conectividad funcional. El primero, como su nombre lo dice, permite conocer el porcentaje de cambio de la señal emitida por la respuesta hemodinámica en determinada región durante un proceso determinado en relación a una línea base. El segundo nos permite inferir qué áreas se encuentran intercambiando información con una región de interés durante determinado proceso psicológico.

A través del análisis de porcentaje de cambio, se observó que las mujeres exhiben mayor cambio en los componentes del sistema de contagio emocional, el cual involucra el cambio de estados somáticos asociados a la percepción de dolor o sufrimiento en otra persona.

Por otro lado, los resultados arrojados por el análisis de conectividad funcional mostraron un patrón más tipificado para las mujeres desde la corteza prefrontal dorsomedial y para los hombres desde la corteza orbitofrontal, insular y cingular anterior; esto parece indicar que las mujeres hacen uso de más recursos para entender la perspectiva del otro mientras que los hombres integran información de diversa índole, tales como detalles visuales de la escena y contextualización social durante su respuesta; asimismo, los hombres usaron más recursos ligados a la autorregulación.

El resultado de este y otros estudios ayudan a explicar cómo respuestas compasivas median y se relacionan con conductas sociales complejas.

En particular, estos resultados pueden explicar el porqué la respuesta compasiva, altruista y razonamiento moral en los hombres está más regulada por la percepción social del otro, el seguimiento de normas y la comparación dentro de un contexto social, como se ha descrito en investigaciones previas.

## 2. ANTECEDENTES.

### 2.1 ¿QUÉ ES LA COMPASIÓN Y CÓMO LA ENTENDEMOS?

La compasión (de las raíces latinas *com* –con- y *passus* –sufrir-) es la capacidad de sentir pena o aflicción por el sufrimiento de otro y generalmente se ve acompañada del deseo de aliviar o subsanar dicho dolor o pena (Haidt, 2003). Difiere de la empatía en que esta última es la capacidad para percibir o incluso contagiarse de la perspectiva de otra persona respecto a un espectro amplio de emociones y no específicamente en condiciones de sufrimiento. La compasión involucraría un tipo particular de empatía para comprenderse con el otro particularmente en situaciones de dolor o aflicción, además de un elemento motivacional ligado a la conducta de ayuda.

Frecuentemente abordada por corrientes religiosas y filosóficas desde la antigüedad, tales como el cristianismo o el budismo, la compasión ha sido resaltada como una virtud humana y moral deseable para una adecuada convivencia social. Durante el siglo XX, una vez que la psicología había ceñido terreno en el campo experimental, se obtuvieron hallazgos diversos que refieren a factores que disponen al ser humano a manifestaciones ligadas directa o indirectamente con la compasión, tales como el altruismo, la empatía y la inhibición de conductas agresivas. Estos factores mostraron ser de naturaleza diversa tales como estilos de crianza, niveles hormonales, estereotipos y expectativas sociales, lo que en conjunto conforma un complejo engranaje.

Muchos de los estudios pioneros en este campo se enfocaron a estudiar específicamente la empatía. Para Feshbach (1975) la respuesta empática requiere tres habilidades interrelacionadas: la habilidad cognoscitiva para tomar la perspectiva de otro, la habilidad cognoscitiva para reconocer la experiencia afectiva de ese otro y la habilidad afectiva para experimentar de modo personal la emoción del otro (Fig.1). En determinadas patologías se observa que uno de estos tres dominios está afectado. Por ejemplo: en el caso de la sociopatía se ha observado que a pesar de que el individuo es incapaz de sentir a nivel afectivo la experiencia del otro, puede identificar las emociones ajenas y usarlas a su conveniencia. En contraste, las personas autistas son incapaces de

tomar la perspectiva de otra persona y reconocer sus emociones, lo cual afecta su respuesta empática aunque sean capaces de mostrar sus afectos positivos y negativos hacia alguien de manera espontánea. Asimismo, no siendo la empatía exclusiva del ser humano, se puede observar que otras especies como el perro, son incapaces de tomar la perspectiva del otro pero pueden reconocer sus emociones y responder afectivamente (Silva et al., 2012).

La habilidad cognoscitiva para inferir estados mentales se ha llamado *teoría de la mente* y se entiende como la capacidad para anticipar una respuesta emocional o cognoscitiva de otro considerando información de diversa índole (perceptual, contextual, historia de vida, personalidad, entre otras).

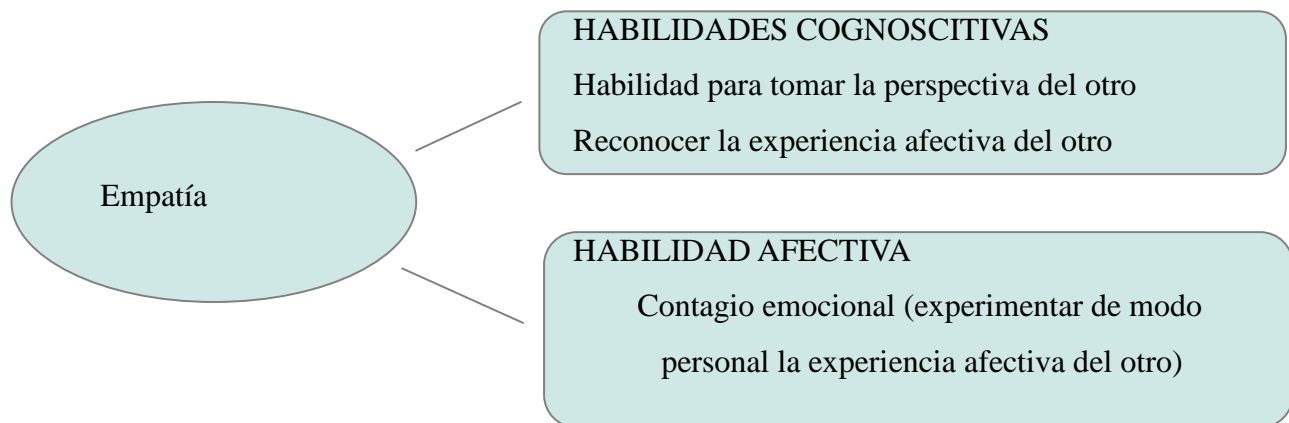


Figura 1. Modelo propuesto por Feshbach (1975) para el estudio de los componentes de la empatía, el cual comprende habilidades cognoscitivas y afectivas.

Aunque las vías cognoscitiva y afectiva de la respuesta empática representen procesos diferentes, no podemos decir que son independientes. Por el contrario, pueden influirse de modo bidireccional, de manera que el tomar intencionalmente la perspectiva del otro facilita la respuesta afectiva y el sentimiento espontáneo al percibir el sufrimiento ajeno puede invocar una serie de implicaciones cognoscitivas. Esta interdependencia coincide con la propuesta teórica de los marcadores somáticos de Antonio Damasio (2003), para quien los estados somáticos derivados de una respuesta afectiva por la asociación entre estímulos y su valor subjetivo (positivo o negativo/ recompensa o castigo), influyen de manera determinante en la emisión de un juicio que pudiera aparentar ser puramente racional.

### 2.1.1 *La compasión como emoción moral.*

Aunque entender la empatía es fundamental para estudiar la compasión, esta última también involucra un componente moral descrito por Haidt (2003). En su Teoría de las Emociones Morales, describe a estas como *aquellas emociones ligadas a los intereses de bienestar de una sociedad como un todo o al menos de personas ajenas al agente que las experimenta*. El autor propone una clasificación de cuatro familias:

Emociones de condena a otros: Ira, Asco y Desprecio.

Emociones de autoconciencia: Culpa y Vergüenza.

Emociones orientadas al agradecimiento o admiración a otros: Gratitud y veneración.

Emociones orientadas por el sufrimiento de otros: Compasión.

De acuerdo con Haidt (2003), la compasión se desencadena por la percepción de sufrimiento o pena de otro y motiva una conducta de ayuda para aliviar el sufrimiento. Asimismo, está ligada a la culpa, de modo que la gente proclive a contagiarse del dolor de otro también es proclive a sentir culpa al realizar conductas que pudieran resultar dañinas hacia otro individuo.

De este modo, la compasión implica un componente empático (poder reconocer el sentimiento de otro y compartirlo), la emisión de un juicio moral (asociado a ideas y esquemas de bienestar) y un elemento motivacional (querer aliviar la pena).

La empatía, en sí misma, resulta importante por tres razones: despierta un sentimiento de preocupación hacia el otro, motiva un comportamiento de ayuda (desencadena la compasión) e inhibe conductas agresivas o dañinas (Tangney et al., 2007). Al ser la compasión el sentimiento que motiva un comportamiento de ayuda, sería este el que se relaciona de modo directo con conductas de cooperación que han tenido un efecto positivo durante la evolución, pues favorecen el bienestar del grupo social aún cuando los miembros no compartan una cercanía genética (Mercadillo y Arias, 2010).

Si bien la empatía, la compasión y las conductas prosociales evolucionaron como conductas adaptativas, existen factores de índole social y biológica, que median y afectan tales comportamientos.

### *2.1.2 Factores sociales que intervienen en la emisión de la compasión y de conductas relacionadas.*

En la década de los setenta, el grupo de Zimbardo demostró la importancia de las condiciones ambientales simulando una cárcel con estudiantes universitarios asignados aleatoriamente como celadores y prisioneros; el experimento fue suspendido pues los “celadores”, quienes no tenían antecedentes de enfermedades mentales ni de comportamiento antisocial, comenzaron a mostrar un perfil sádico y autoritario (Haney et al., 1973).

En otro experimento clásico, Milgram (1963) pedía a voluntarios inducir corrientes eléctricas a otro sujeto cuando este respondía incorrectamente durante una tarea de aprendizaje, conforme los errores aumentaban también la intensidad de la corriente incrementaba. En realidad, el objetivo de la tarea no era evaluar el reforzamiento negativo sobre la ejecución, sino el nivel de obediencia que exhibían los voluntarios, quienes no sabían que la corriente eléctrica era falsa y que el otro sujeto era un actor. Se observó que algunos voluntarios accedían a “inducir” corrientes eléctricas a intensidades casi letales.

Ambos estudios demuestran cómo las condiciones ambientales permean la emisión de un juicio moral. En el estudio de Milgram, aunque los voluntarios llegaban a exhibir empatía ante el actor, las reglas y normas sociales (las expectativas y responsabilidad de concluir un protocolo de investigación, por ejemplo) ejercían una influencia más fuerte sobre su decisión. En el estudio de la cárcel simulada, se infiere que estas normas incluso permearon al nivel de la empatía, de modo que los “celadores” podían no sentir remordimiento pues “cumplían con su deber”.

Por otro lado, un metanálisis reciente sobre 72 estudios hechos entre 1979 y 2009, identificó que

las respuestas de estudiantes universitarios en las subescalas de Empatía y Toma de perspectiva de la Escala de Reactividad Interpersonal habían decrecido conforme al tiempo siendo más pronunciado el efecto desde el año 2000; la autora señala que factores tales como el alto grado de competitividad y énfasis en uno mismo, el uso acentuado de tecnologías personales, el *bullying* y la violencia pueden contribuir a estos hallazgos (Konrath et al., 2011).

Este cambio en los niveles de Empatía y Teoría de la Mente se ve reflejado en prácticas diarias dentro de las relaciones sociales en diferentes partes del mundo, tales como el aumento de *bullying* escolar (Cerezo, 2009); el incremento en el número de infanticidios y síndrome del niño sacudido (Loredo-Abdalá et al., 2006); y el aumento de heridas graves como producto del abuso físico infantil (Leventhal y Gaither, 2012), entre otras.

Además del contexto social general, el entorno inmediato del individuo también influye en las habilidades empáticas y en sus consecuentes efectos en la compasión. Por ejemplo, un individuo que ha sido criado con un estilo de apego seguro, muestra mayor empatía y preocupación por los otros. Asimismo, un niño que muestra mayor autoregulación emocional es más proclive a ejecutar conductas prosociales. Más aún, es importante mencionar que las interacciones sociales del individuo contribuyen de manera importante a la formación y moldeamiento de circuitos nerviosos que subyacen a la conducta empática (Decety y Svetlova, 2012; Mercadillo et al., 2012).

## 2.2 NEUROBIOLOGÍA DE LA COMPASIÓN.

### 2.2.1 *Evolución, medio químico y estructuras nerviosas subyacentes.*

Además de los factores sociales que pueden afectar las respuestas empáticas y compasivas de un individuo, se han identificado factores biológicos influyentes.

La empatía se ha inferido en diversas especies no humanas, habiéndose observado en chimpancés, bonobos y ratas, a partir de conductas como contagio del bostezo, consuelo y



comportamiento prosocial (Bartal et al, 2011; De Waal, 2011). También existen hallazgos antropológicos que sugieren que existieron conductas prosociales a miembros de un grupo de homínidos con malformaciones congénitas desde hace por lo menos seis mil años (Mercadillo y Arias, 2010).

En 1985, Paul Mc Lean propuso que la empatía evolucionó a partir de conductas seleccionadas que permitieron la adaptación de los mamíferos, tales como la crianza, el juego y el gregarismo, cuyo correlato neuronal sería la conexión entre el tálamo y el cíngulo formando parte del sistema límbico. En el ser humano, al estar la empatía ligada a procesos de alto orden, como el lenguaje o las funciones ejecutivas (estrechamente asociadas con la corteza prefrontal), se observa un espectro amplio y diverso de conductas empáticas, de modo que una persona puede sentir compasión por un grupo de gente al otro lado del mundo con quienes no ha tenido contacto (Lamm et al, 2010).

No obstante, se conservan varias similitudes con el resto de las especies, pues se mantiene la parte primitiva que permite una reacción emocional inmediata. El contagio emocional derivado de esta reacción es una de las formas más básicas de comunicación y que se presenta en diversos vertebrados; un ejemplo es el caso de las ratas que dejan de presionar una palanca que les proporciona comida si esto conduce simultáneamente un electroshock a un congénere, o las ratas que perseveran para liberar a otra rata encerrada y que incluso renuncian a un trozo de chocolate para hacerlo (Bartaal et al., 2011; Church, 1959). Asimismo, algo que se mantiene en diversas especies es que el grado de conducta altruista está relacionado con la similitud o el grado de vinculación entre los sujetos, mostrando un mayor compromiso con aquellos más cercanos o percibidos como del mismo grupo (Decety y Svetlova, 2012; Hein et al., 2010).

Respecto al medio químico que subyace a conductas empáticas y prosociales, tanto en los roedores como en los primates, se ha observado que neuropéptidos tales como los opioides y la prolactina resultan relevantes para regular una respuesta social-afectiva. En particular la oxitocina juega una función esencial en conductas de apego y cuidado. En los seres humanos se ha identificado que esta hormona mejora el reconocimiento de expresiones faciales, facilita el acercamiento social e incrementa la confianza en el otro (Domes et al., 2007; Kosfeld et al.

2005); se ha propuesto que media respuestas empáticas y comportamientos prosociales reduciendo la actividad en circuitos de respuestas a estímulos aversivos – en el que se incluye la amígdala- y aumentando la actividad de la ínsula y el giro frontal inferior, que pertenecen a la red neuronal de la empatía (Riem et al. 2011). Por otro lado, en un estudio reciente se observó que el polimorfismo del gen que codifica para los receptores de oxitocina (rs53576), involucrado también en el autismo, está relacionado a la inferencia de emociones mediante expresiones faciales y a la reactividad afectiva (Rodríguez et al., 2009). Adicionalmente, diversos estudios han evidenciado la relación entre la liberación de oxitocina y la de dopamina del sistema mesolímbico, lo cual se asocia al placer que experimentamos durante conductas de apego y altruismo (Decety y Svetlova, 2012).

No solamente el medio químico y la predisposición genética pueden afectar los procesos empáticos y compasivos, sino también cuestiones orgánicas tales como la integridad de vías y estructuras anatómicas. Al respecto, Bechara et al. (2000) observaron que pacientes que sufrieron una lesión en la zona orbitofrontal a una edad temprana se involucraban en conductas antisociales y de alto riesgo, violaban reglas convencionales y morales mostrando poca o ninguna evidencia de culpa o empatía.

Un sistema que merece particular atención en lo referente al contagio emocional (componente de la empatía) es el *sistema de neuronas espejo*. Este sistema fue por primera vez descrito por Rizzolatti en neuronas de la corteza premotora; fueron llamadas *neuronas espejo* porque se observó que presentaban actividad eléctrica cuando un mono ejecutaba una acción y cuando observaba a otro mono o al experimentador ejecutar la misma acción. Se llegó a la conclusión de que este sistema era relevante para dilucidar las acciones del otro y tenían un papel fundamental en la comunicación social (Rizzolatti et al., 1996). Desde entonces se han reportado otros grupos de neuronas que actúan de manera similar en la ínsula anterior (IA), en el operculum frontal, en el giro frontal inferior pars opercularis, en el surco temporal superior y en el lóbulo parietal inferior, y que responden ante la observación y ejecución de un gesto o de una acción (Jabbi y Keysers, 2008; Van Overwalle, 2009).

### *2.2.2 Las dos vías de la compasión: la cognoscitiva y la afectiva.*

De manera análoga a la empatía, podemos distinguir en la compasión dos componentes principales: el cognoscitivo y el afectivo. El primero se liga principalmente con los procesos de reconocimiento de emociones, teoría de la mente -inferir emociones e intenciones de otras personas- y juicio moral. El componente afectivo se liga a la parte de contagio emocional, el cual incluye una respuesta somato-visceral; este último es el más antiguo ontogenética y filogenéticamente (Ver Tabla 1).

De acuerdo con Zaki et al. (2009) la vía afectiva está ligada al sistema límbico, áreas paralímbicas y los sistemas de neuronas espejo en las áreas somatosensoriales y se le conoce como el sistema de “representaciones compartidas” (Ver Fig. 2). Adicionalmente, se ha descrito la red del dolor, la cual responde al dolor (físico o emocional) propio y ajeno, y que se compone por la ínsula y la corteza del cíngulo anterior (Singer et al., 2006). Otras estructuras subcorticales como los ganglios basales, en particular el núcleo caudado y el putamen, se han visto implicados en procesos morales y en el restablecimiento de normas (Mercadillo, 2012).

La vía cognoscitiva se asocia a la corteza prefrontal medial (CPFm), el surco temporal superior posterior derecho, la unión temporoparietal derecha y el cíngulo posterior. Por otro lado, la corteza orbitofrontal (COF), la corteza del cíngulo anterior (CCA) y la corteza prefrontal ventromedial parecen jugar un papel crítico en la integración de la cognición y la emoción (Decety y Svetlova, 2012) (Ver Fig. 2).

El componente cognoscitivo que sopesa la valoración de estímulos, contextualiza, mentaliza e integra pistas sociales, tales como gestos, es la última en aparecer en la filogenia y en la ontogenia, pues a pesar de que los niños son capaces de mostrar empatía desde edades muy tempranas e incluso su sistema de neuronas espejo funciona desde los seis meses (Decety y Svetlova, 2012), la capacidad para abstraer el pensamiento y estado afectivo de alguien más en un contexto dado sin que la situación esté de hecho sucediendo (teoría de la mente) es un proceso complejo. Ocurre una transición entre los 3 y 4 años, en la que el niño desarrolla un sistema conceptual para representar estados mentales, por lo que es capaz de concebir que cada individuo

posee estados mentales propios y realiza una distinción entre sus estados y los de las otras personas (Perner, 1992).

Los adultos, al momento de leer las emociones de otra persona, hacen uso de los componentes afectivo y cognoscitivo de manera conjunta (Zaki et al, 2009). No obstante, aunque para emitir una respuesta empática adecuada se requieren la respuesta afectiva y la capacidad de mentalización, también resulta necesario el desarrollo de circuitos para la regulación emocional, pues si no es controlada la reacción afectiva no se propicia una respuesta prosocial adecuada. Tal regulación estaría procesada por la corteza orbitofrontal, al ser esta región la que integra la valoración de diferentes estímulos resultando en la inhibición de afectos y conductas inapropiados (Damasio, 2003).

Compasión	Componente afectivo	Componente cognoscitivo
Aparición durante la filogenia y ontogenia.	Más antiguo (Decety y Svetlova, 2012)	Más reciente (Decety y Svetlova, 2012)
Procesos involucrados.	Ligado a procesos somatoviscerales (Zaki et al, 2009)	Ligado a procesos de teoría de la mente (Zaki et al, 2009)
Áreas involucradas del SNC	Sistema límbico Áreas paralímbicas Sistemas de neuronas espejo en las áreas somatosensoriales (Zaki et al, 2009) Ínsula Corteza del cíngulo anterior (Singer et al, 2006)	Corteza prefrontal medial Surco temporal superior posterior Unión temporoparietal derecha Cíngulo posterior (Decety y Svetlova, 2012)
Integración de componente afectivo y cognoscitivo.	Corteza orbitofrontal, corteza del cíngulo anterior (CCA) y corteza prefrontal ventromedial (Decety y Svetlova, 2012)	

Tabla 1. La distinción de los componentes afectivo y cognoscitivo de la empatía y de la compasión tiene como origen la diferencia en su origen filogenético y ontogenético, los procesos involucrados y las estructuras nerviosas subyacentes.

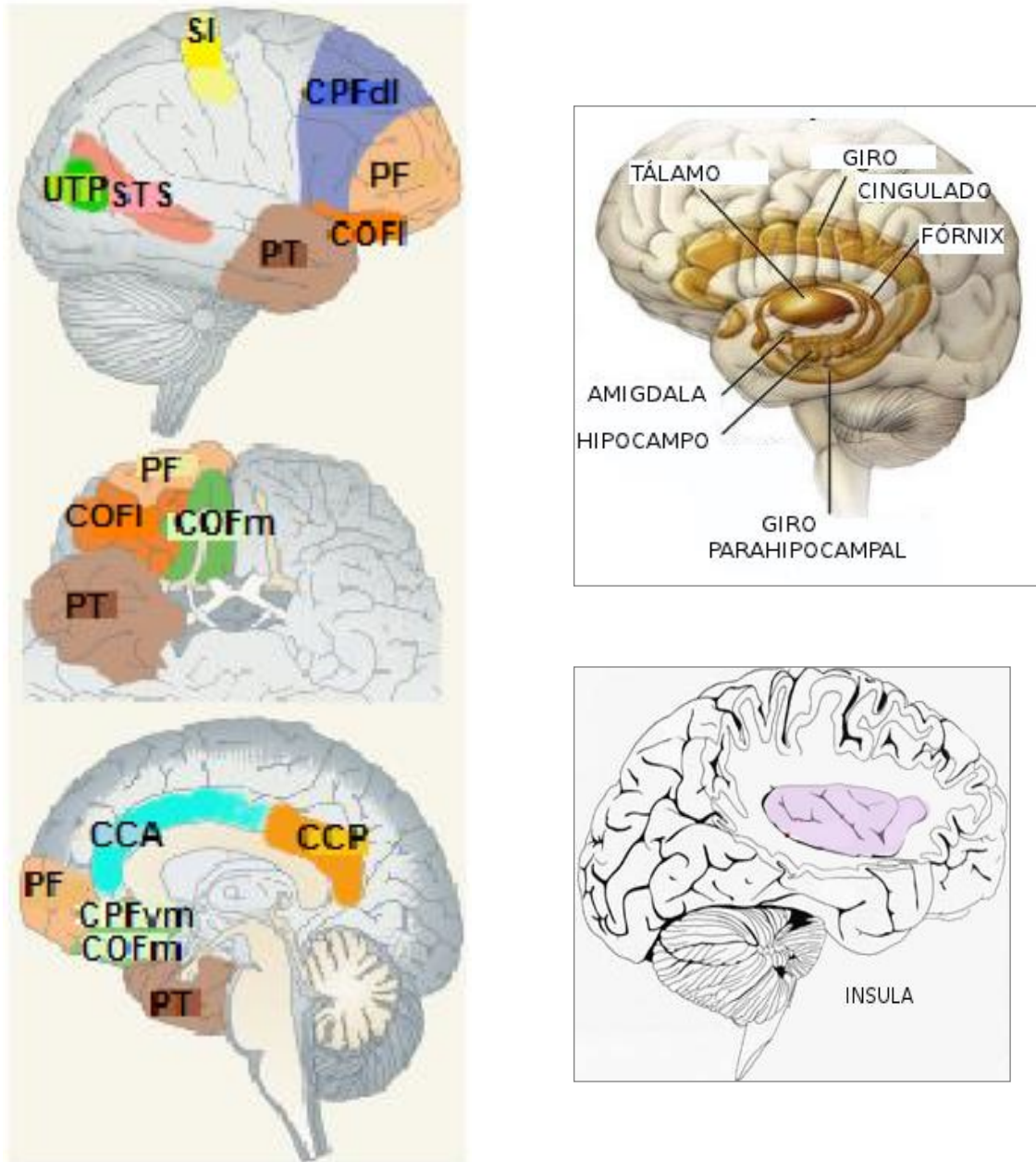


Figura 2. A la izquierda: Se muestran las áreas corticales que se han visto relacionadas en diferentes estudios a procesos empáticos y morales -PF. Polo Frontal; CPFvm Corteza Prefrontal ventromedial; COFm, Corteza Orbitofrontal medial; COFI, Corteza Orbitofrontal lateral; PT, Polo Temporal ; CPFdl, Corteza Prefrontal dorsolateral; SI, área Somatosensorial primaria; STS, Surco Temporal Superior; UTP, Unión Temporo-Parietal; CCA, corteza del cíngulo anterior; CCP, corteza del cíngulo posterior (Imágenes adaptadas de: Moll et al., 2005). Además de áreas corticales también participan en tales procesos áreas límbicas y paralímbicas (arriba derecha) y la corteza insular (abajo derecha) (Imágenes modificadas de: [http://www.psiquiatriasatelite.mex.tl/317476\\_Neurobiologia-Basica.html](http://www.psiquiatriasatelite.mex.tl/317476_Neurobiologia-Basica.html) y <http://sfwalker.org.uk/optionintranet/imagesfw/insularame.html>, respectivamente).

Además de los componentes cognoscitivo y afectivo mencionados de la compasión, ésta también implica la emisión de un juicio relacionado a los intereses de bienestar de una sociedad o de miembros pertenecientes a ella, y también implica un componente motivacional que se traduce en el deseo de aminorar el dolor o pena ajenos (Haidt, 2003).

Los modelos propuestos para entender la empatía carecen de estos componentes, un modelo más integral y propuesto para explicar las emociones morales en sí mismas es el modelo EFEC'S (event, feature, emotion, complexes / complejos evento-rasgo-emoción), propuesto por Moll et al. (2005).

En contraste con otras visiones, Moll y sus colaboradores (2005), no consideran que haya una jerarquía entre los componentes afectivo y cognoscitivo, en las que tradicionalmente se considera que el componente cognoscitivo compite con o domina al afectivo; sino que existe una integración en la que ambos componentes se influyen mutuamente.

La propuesta de estos autores consiste en un modelo que considera tres componentes principales: el conocimiento derivado de las representaciones dependientes del contexto y que comprende la estructuración y conformación de secuencias de eventos, el cual se ligaría a la corteza prefrontal (evento); conocimiento social que es independiente del contexto y se procesa a través de la percepción del lenguaje corporal y la prosodia, mecanismos ligados al surco temporal superior, así como conocimiento social semántico, relacionado a la corteza temporal anterior o polo temporal (rasgo); y un componente emocional independiente del contexto ligado a la activación de áreas límbicas y paralímbicas (emoción). Estos tres componentes interactúan y dan lugar a complejos “evento-rasgo-emoción”.

Este modelo guarda cierta semejanza con el modelo de Feshbach (1975) antes descrito, donde el componente de *evento* se asociaría al componente racional de teoría de la mente, el componente de *rasgo* al componente afectivo de reconocimiento de emociones y el componente *emoción* al componente de contagio emocional. Adicionalmente, el *evento* también estaría relacionado a la contextualización de la situación en un determinado marco social y de esta manera estaría ligado

con la emisión de juicios morales asociados a valores y creencias.

Por último, dentro de esta perspectiva sería conveniente integrar a la *emoción* un componente somático, asociado a la ínsula y a la corteza sensoriomotora, así como al complejo de neuronas espejo del giro frontal inferior-ínsula-operculum. Estas estructuras, como se detallará más adelante, se han visto asociadas a la percepción de cambios somatoviscerales y al contagio emocional. De este modo, este complejo constituiría el factor fisiológico de la emoción que se manifiesta en cambios corporales y somáticos (*vgr.* la presión sanguínea, la tasa cardiaca, la respuesta galvánica, entre otros).

### 2.2.3 *Corteza prefrontal, corteza insular y corteza del cíngulo anterior.*

Tanto en estudios que indagan los correlatos neurales de la empatía como de la compasión, tres estructuras resultan constantes: la corteza prefrontal, la corteza del cíngulo anterior y la ínsula anterior. A continuación se profundizará en su estudio.

- *Corteza Prefrontal (CPF).*

Esta región, localizada en la parte anterior de los lóbulos frontales, es la de más reciente evolución en la escala filogenética y su función se asocia con los procesos cognoscitivos más complejos tales como la autoconciencia, la toma de decisiones, formación de conceptos abstractos, planeación, autocontrol, memoria de trabajo y flexibilidad (Diamond, 2002; Hoshi y Tanji, 2004; Mc Carthy et al., 1994).

Mientras que sus porciones dorsales y laterales se relacionan a procesos cognoscitivos “fríos” tales como memoria de trabajo o planeación, las porciones ventral y orbital están más relacionadas a la regulación de procesos afectivos lo que se asocia a la toma de decisiones y autocontrol (Fig. 3) (Bechara et al., 2000; Kerr y Zelazo., 2004).

Asimismo, como se mencionó en el apartado anterior, se han identificado sistemas de neuronas espejo en el área premotora y en el giro frontal inferior (Rizzolatti et al., 1996; Jabbi y Keysers,



2008).

Por otro lado, mediante estudios de resonancia magnética funcional, la función de la corteza prefrontal medial (CPFm) se ha visto constantemente asociada a procesos de teoría de la mente (Lamm et al., 2007).

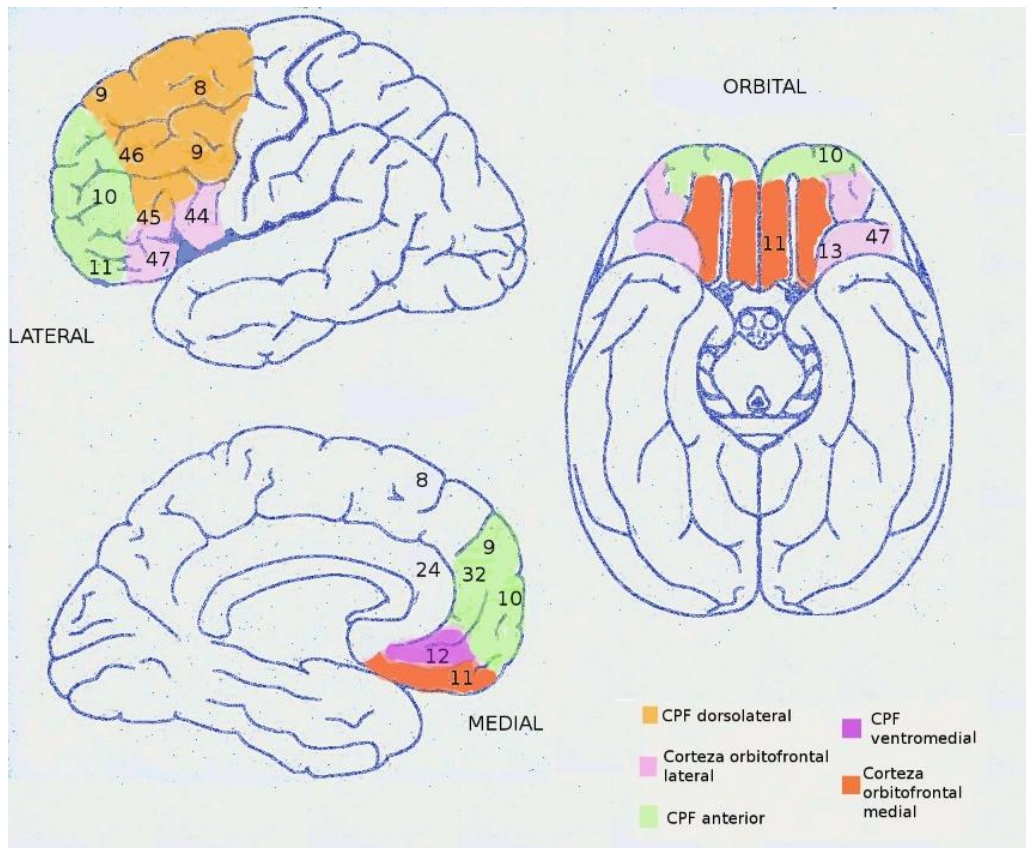


Figura 3. Áreas de Brodmann que corresponden a las diferentes regiones de la CPF. (adaptado de Fuster, 2001).

### *Conexiones.*

Schoenemann et al. (2005) midieron en 11 especies de primates, incluyendo al ser humano, la sustancia gris y blanca de los lóbulos frontales y encontraron que la diferencia más importante entre humanos y no humanos radicaba en el volumen de la sustancia blanca, mientras que no se hallaron diferencias significativas respecto al volumen de la sustancia gris.

En particular, la CPF está interconectada con cada unidad funcional del cerebro: se conecta a las áreas intermodales posteriores, que representa la estación de integración perceptual; con la corteza premotora, los ganglios basales y el cerebelo, todos involucrados en aspectos motores; mantiene estrechas interconexiones con el cíngulo anterior, el cual está involucrado con las emociones y con el enfrentamiento ante la incertidumbre; y está conectada con los núcleos del tallo cerebral encargados del nivel de alerta (Goldberg, 2001).

Las tres subregiones de la CPF (lateral, medial y orbital) mantienen conexiones entre sí y con el núcleo del tálamo anterior y dorsal, estructura de relevo de la información sensorial (Fuster, 2002).

Por su parte, la corteza orbitofrontal (COF) y la CPF medial (CPFm) forman parte de un circuito fronto estriatal con extensas y directas conexiones hacia la amígdala, estructura que permite el desencadenamiento de conductas relevantes en las relaciones entre los miembros de un grupo, como el miedo y la agresión. Estas porciones de la CPF también mantienen proyecciones hacia otras regiones del sistema límbico, como el hipocampo y el hipotálamo (Goldberg, 2001).

La subregión lateral mantiene conexiones con el hipocampo, el núcleo caudado y el cíngulo en sus porciones anterior y posterior; también mantiene conexiones profusas con las áreas asociativas de la corteza occipital, parietal y temporal (Fuster, 2002).

#### *Vascularización.*

La corteza prefrontal se mantiene irrigada por diversas ramas de la arteria cerebral anterior: la arteria estriada medial inerva la cara inferior del lóbulo frontal; las ramas orbitarias irrigan la cara orbitaria y la porción medial; y la arteria frontopolar inerva también la porción medial, así como la región polar (Carpenter, 1994).

De la arteria cerebral media se deriva la arteria frontoorbitaria que también inerva a la corteza prefrontal, irrigando las porciones laterales de las circunvoluciones orbitales, frontales inferior y media, la mayor parte de la precentral y de la postcentral (*Idem*).

- *Corteza Insular (CI).*

Localizada en la parte profunda del telencéfalo (adyacente a la región basal del surco de Silvio) (Fig. 4), esta área se ha asociado con la percepción de estímulos olfativos y gustativos, estados somáticos, movimientos viscerales, autoconciencia corporal, memoria sexual, adicciones, desregulación emocional, sensaciones nonioceptivas, tales como el asco, y con el dolor físico y emocional (Mutschler et al. 2009).

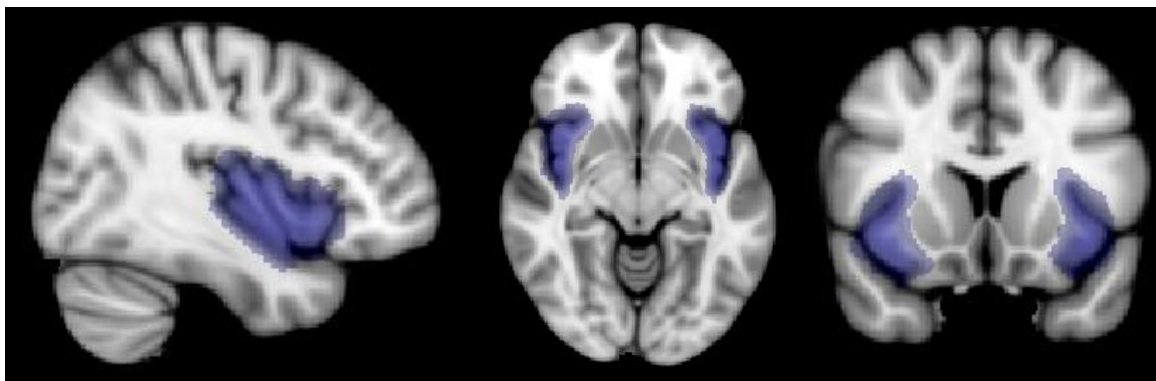


Figura 4. La corteza insular, también llamada el “quinto lóbulo”, situada detrás del lóbulo temporal desde una vista sagital , axial y coronal.

Con el uso de resonancia magnética funcional se ha observado que esta región también se activa al detectar expresiones faciales de asco y de dolor en otra persona, lo cual sugiere la presencia de un sistema de neuronas espejo. Asimismo, se ha relacionado con la experimentación de emociones básicas y sociales (Gazzaniga, 2009).

De acuerdo con un análisis que consideró 58 estudios de neuroimagen, la porción anterodorsal de la corteza insular anterior está involucrada en la respuesta a violación de normas y posiblemente al procesamiento de elementos abstractos y multimodales; la porción posterior dorsal con respuestas motrices voluntarias –lo que puede estar asociado con la sensación somática o con el sentido de autoconciencia corporal-; y la porción ventral con respuestas periféricas autónomas. Al respecto, la porción ventral muestra coactivación con la amígdala (la cual es más acentuada en el

hemisferio derecho), lo que se asocia a la relación entre estados corporales y emociones (Mutschler et al. 2009).

### *Conexiones.*

Mediante la técnica de tractografía por resonancia magnética ha sido posible identificar algunas vías de la corteza insular humana. Cloutman et al. (2012) identificaron las siguientes conexiones:

▲ Porción ventral anterior (agranular): Se conecta por vías ventrales con regiones orbitofrontales, ventrolateral e inferofrontales (opercular y triangular), con áreas temporales anteriores y con el giro temporal medio posterior (Fig. 5). Estas vías vistas por tractografía coinciden con fibras ya detectadas con otros métodos, tales como el fascículo uncinado (corteza prefrontal media y orbital - áreas temporopolares), la cápsula extrema (área temporal media y superior - operculum y pars triangularis) y el fascículo inferior (occipito-orbital).

▲ Porción dorsal posterior (granular): Mantiene conexiones con el lóbulo temporal superior posterior y medio y con el operculum rolándico (Fig. 5). Dichas conexiones parecen corresponder con la cápsula extrema y al fascículo longitudinal medio en la vía ventral y al fascículo arcuato por la vía dorsal.

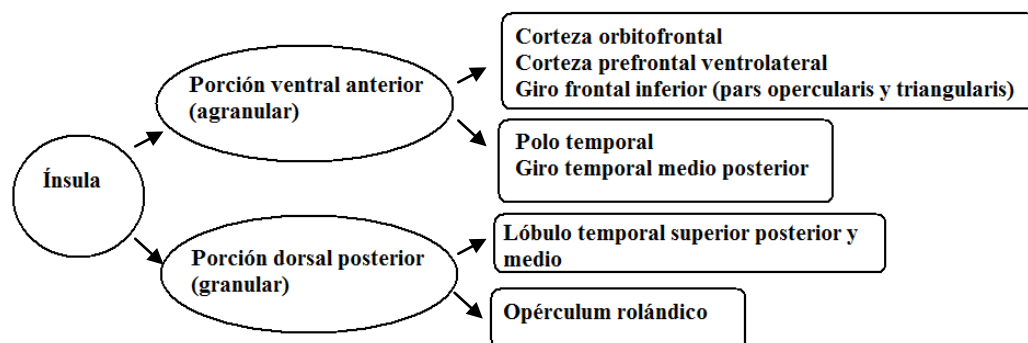


Figura 5. Se muestran las conexiones de la corteza insular desde sus porciones ventral y dorsal.

### *Vascularización.*

La corteza insular es irrigada por la arteria cerebral media en su segmento M2 (también llamado

porción insular de la arteria cerebral media) (Carpenter, 1994).

- *Corteza del cíngulo anterior.*

La corteza del cíngulo es la circunvolución que rodea la superficie del cuerpo calloso, y por tanto se extiende debajo del surco interhemisférico desde la porción anterior a la posterior de los hemisferios. Se divide, acorde a su citoarquitectura, en las porciones anterior, media, posterior y retroesplenial (Fig. 6).

La corteza del cíngulo anterior (CCA), importante en la emisión de emociones negativas entre otros procesos, comprende las áreas de Brodmann 24, 32 y 33. Su porción dorsal, se ha relacionado a tareas diversas tales como la anticipación de la recompensa, monitoreo de errores, toma de decisiones y empatía (Decety y Jackson, 2004).

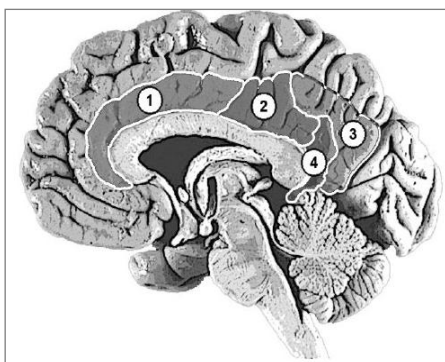


Figura 6. Corteza del cíngulo. 1. Porción anterior; 2. Porción media; 3. Porción posterior; 4. Porción del retroesplenio. (Imagen tomada de: <http://psychologyinrussia.com/volumes/?article=1184>)

### *Conexiones.*

A partir de sus conexiones neuronales, la corteza anterior del cíngulo se divide en las porciones subgenual y pregenual. Se ha observado que la CCA subgenual, junto con la corteza prefrontal medial, la corteza orbitofrontal y el lóbulo temporal, forman un circuito ligado al procesamiento de eventos emocionales tristes y a su regulación. En contraste, el cíngulo anterior pregenual se

asocia con experiencia de emociones de felicidad y procesos relevantes para el yo; su actividad se manifiesta en conjunto con la amígdala, la ínsula anterior, el tálamo, el caudado y el putamen durante eventos placenteros, durante el control del dolor y ansiedad, la regulación emocional y la experiencia nociceptiva visceral. La división pregenual es considerada el área de asociación de la corteza del cíngulo, pues es la única que conecta con todas las demás divisiones de esta estructura; asimismo, mantiene conexiones con diversas estructuras corticales y subcorticales (Yu et al. 2011).

Las conexiones que mantiene la corteza del cíngulo con regiones mesolímbicas del circuito dopaminérgico, determina su papel en el control de la liberación de oxitocina y vasopresina. Al respecto Kim y colaboradores (2009) sugieren que este circuito puede mediar entre la experiencia de compartir el dolor de otro y una aproximación de índole prosocial.

#### *Vascularización.*

La corteza cingular es irrigada por la rama cingular de la arteria callosomarginal, la cual se deriva a su vez de la arteria cerebral media (Carpenter, 1994).

La información presentada sobre los procesos subyacentes a cada estructura, así como su conectividad, serán de utilidad para comprender mejor los estudios de neuroimagen que se han realizado para investigar el mecanismo de la compasión, la empatía y conductas prosociales que se examinan en la siguiente sección.

### 2.3 ESTUDIO DE LA COMPASIÓN MEDIANTE NEUROIMAGEN.

En las últimas décadas, gracias a los avances en las técnicas de electrofisiología y neuroimagen se han identificado regiones del sistema nervioso central involucradas en el procesamiento de diversas emociones morales, entre ellas la compasión. Una de las técnicas por excelencia para estudiar los correlatos neurales de estas emociones ha sido la resonancia magnética funcional

mediante la señal BOLD (Blood Oxygenation Level Dependent). Antes de continuar con su aplicación en el estudio de procesos cognoscitivos se hará una revisión sobre los principios elementales de esta técnica.

### *2.3.1 Resonancia magnética y señal BOLD.*

Los diferentes tejidos del cuerpo, debido a su composición química, responden de diferente manera a campos magnéticos.

En particular, son los núcleos atómicos que presentan propiedades magnéticas los que causan tal diferencia y son llamados spins (en la resonancia magnética tradicional los spins que se manipulan son los núcleos atómicos de hidrógeno). Si sometemos a todas las células del cuerpo a un campo magnético de gran magnitud (campo principal), de modo, que los spins de sus moléculas precesen a la misma frecuencia y en torno a un mismo eje, y después a alguna región le aplicamos un pulso de radiofrecuencia para que el eje de precesión de los spins de esa zona cambie, en el momento de retirar este último pulso, los spins regresarán al eje del campo magnético principal, pero algunos tardarán más que otros y además la frecuencia de precesión de ellos se irá desfasando. A este fenómeno es al que se llama propiamente resonancia magnética (nuclear) y es posible recoger su señal mediante una antena receptora; el tipo de señal dependerá de la velocidad a la que los spins regresan al eje del campo principal y el desfase en sus frecuencias de precesión.

A través de la manipulación de la secuencia de los pulsos de radiofrecuencia y el momento en el que se recoge la señal, ha sido posible obtener distintos tipos de imágenes que son sensibles a diversas propiedades estáticas y dinámicas de los tejidos.

Un tipo particular de secuencia ( $T2^*$ ) es sensible a lo que se ha llamado *inhomogeneidades de campo*, que se refiere a las variaciones en la precesión de los spins de una locación a otra debidas al cambio de la fuerza del campo local. Un fenómeno crucial que provoca inhomogeneidades de campo es el nivel local de oxigenación en la sangre.

La diferencia en la señal de resonancia magnética entre sangre oxigenada y desoxigenada, es observable gracias a las propiedades paramagnéticas de la sangre desoxigenada, es decir, que es atraída en cierto grado hacia el campo magnético, en contraste con la sangre oxigenada que es diamagnética (repelida ligeramente del campo magnético). Es a este contraste al que se denomina *dependiente del nivel de oxigenación en la sangre* (BOLD- Blood Oxygenation Level Dependent). La señal BOLD fue por primera vez registrada por Ogawa y colaboradores (Ogawa et al. 1990), cuyo objetivo era medir actividad fisiológica por resonancia magnética; a partir de las propiedades de la sangre oxigenada y desoxigenada que ya habían sido observadas con la secuencia T2\* hipotetizaron que este podía ser un medio para medir el metabolismo. Expusieron a roedores a respirar oxígeno puro o aire normal y observaron que en efecto, la señal era diferente para ambos casos (Fig. 7).

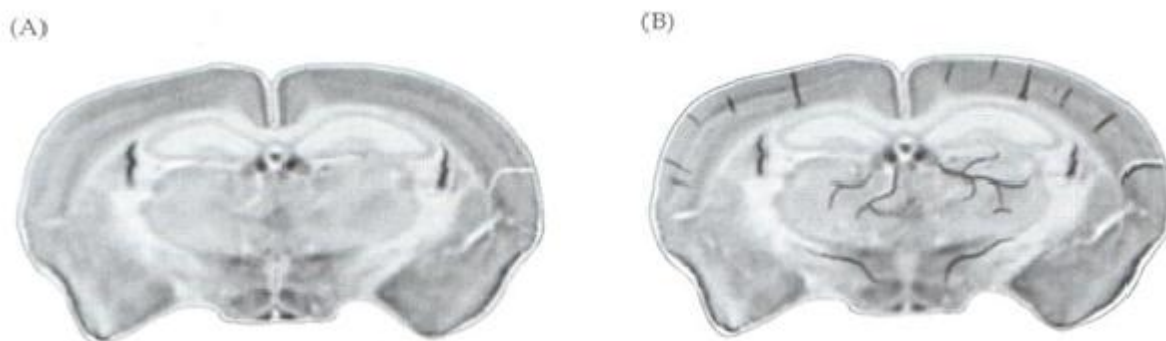


Figura 7. Imágenes derivadas de la secuencia T2\* en el experimento de Ogawa et al. (1990). A) Ratas que respiraron aire normal, B) Ratas que respiraron oxígeno puro (Imagen tomada de Heuttel et al. 2009).

De este modo, el contraste BOLD no mide directamente la actividad neuronal, pero esta se infiere a través de una serie de principios biológicos.

Desde 1977, Sokoloff y sus colaboradores encontraron mediante autoradiografía que existía una relación directa y proporcional entre la tasa de glucosa metabolizada, lo cual requiere oxígeno, y el incremento de flujo sanguíneo en una región particular del cerebro.



De este modo, al momento de realizar un proceso cognoscitivo, las neuronas de las regiones cerebrales involucradas absorben glucosa para satisfacer sus demandas energéticas catabolizando la glucosa y produciendo ATP (adenosín trifosfato), pero dicho proceso requiere oxígeno. (Fig. 8)

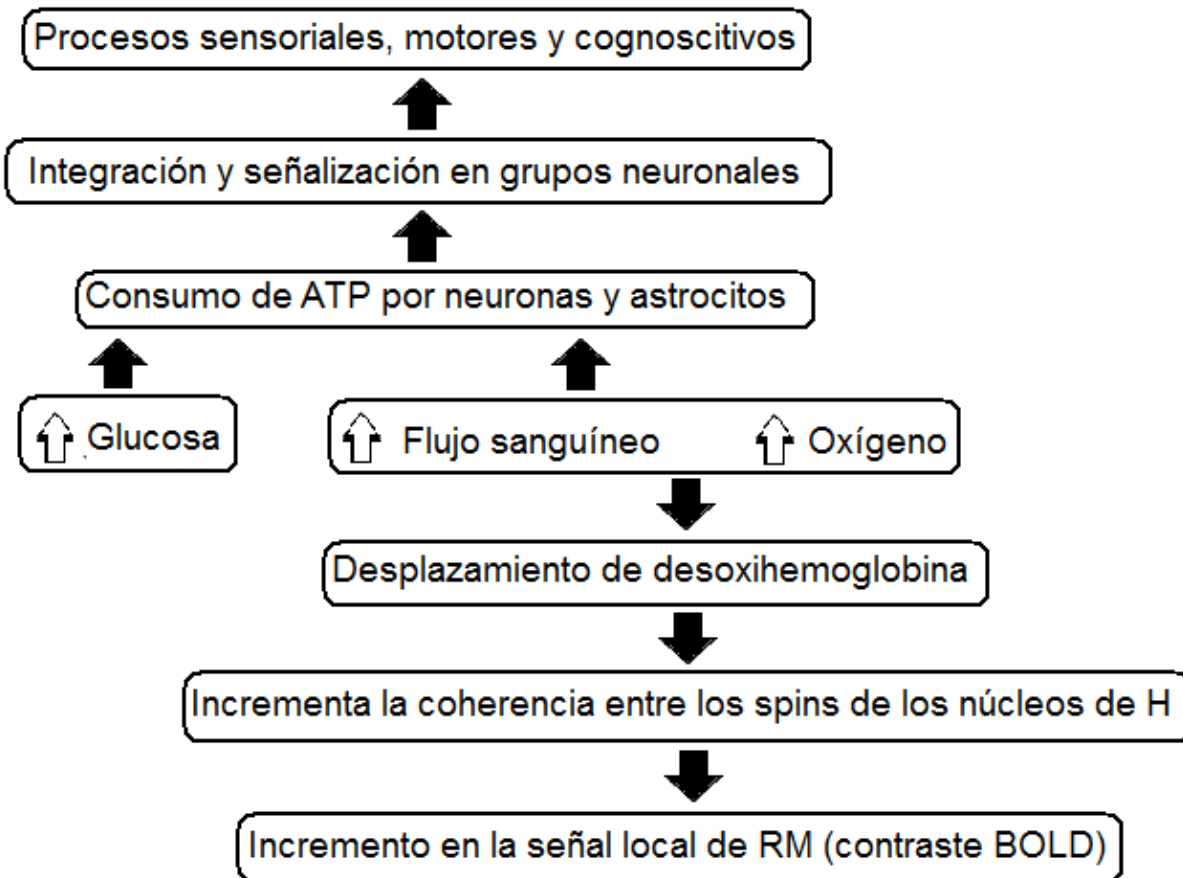


Figura 8. Este diagrama ilustra la secuencia la relación entre la señal BOLD y la actividad cerebral derivada de un proceso sensorial, motor o cognoscitivo (Imagen traducida de Huettel et al., 2009).

Contrariamente a lo que se esperaría, cuando una región del cerebro se encuentra metabólicamente activa se observa un incremento en la señal derivado de un aumento en la sangre oxigenada. Esto se debe a que si bien existe un aumento inmediato en la sangre desoxigenada por la actividad metabólica, el sistema responde a esta necesidad supliendo con una cantidad mayor de sangre oxigenada que la requerida.

Cabe aclarar que aunque el objetivo de registrar la respuesta hemodinámica es la respuesta neuronal subyacente, también intervienen otros factores que afectan tal respuesta, tales como el volumen y flujo sanguíneos. Estos elementos, en conjunto, definen las diferentes fases de la señal.

En el modelo de la función de la respuesta hemodinámica se observa un ligero decremento de la señal, el cual parece estar asociado al incremento inicial de la sangre desoxigenada. Aproximadamente después de dos segundos se observa el incremento de señal ocurrido por un aumento de la oxigenación y después de 5 segundos alcanza su punto máximo o "pico". Posteriormente, la señal decreta hasta un punto inferior al de la línea base, efecto que se explica debido a que se mantiene cierta expansión del volumen de las venas aunque el flujo haya reducido (Fig. 9).

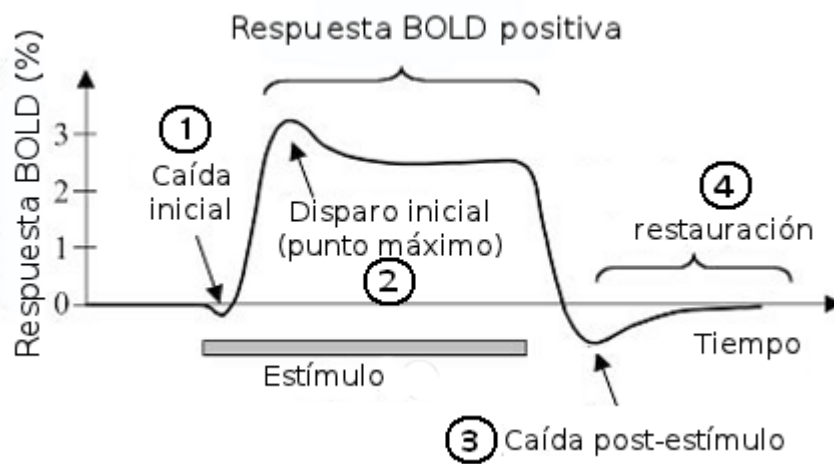
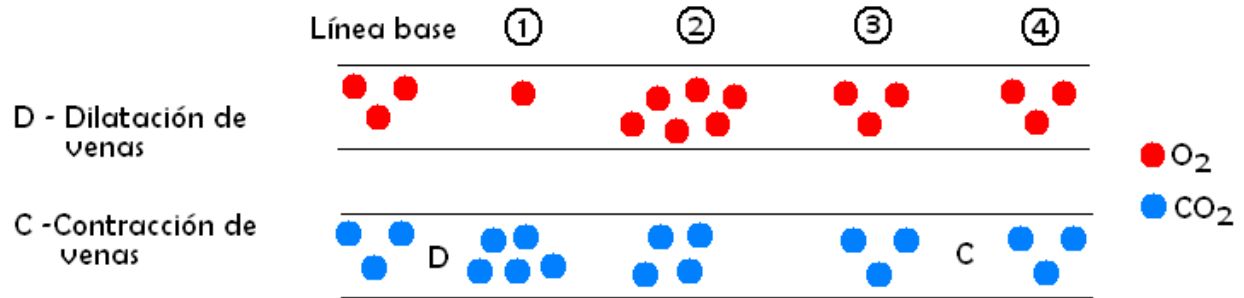


Figura 9. La respuesta hemodinámica asociada a la percepción de un estímulo. Se muestran en secuencia sus fases: 1) Caída inicial – ocurre un aumento de sangre desoxigenada como efecto de las necesidades metabólicas celulares-, 2) Punto máximo – existe un aumento del flujo de sangre oxigenada para atender a las necesidades metabólicas de las células-, 3) Caída post-estímulo – la células ya no demandan oxígeno por lo que decremanta el flujo sanguíneo, pero las venas continúan dilatadas- , y 4) Restauración de la línea base –el flujo sanguíneo regresa a la línea base así como el grado de contracción de las venas- (Imagen adaptada de Huettel et al., 2009).

Finalmente, la respuesta hemodinámica se ajusta a un comportamiento lineal, por lo que presenta el principio de escalamiento y el de superposición. El primero implica que la magnitud de la respuesta es proporcional a la magnitud del estímulo y el segundo que la respuesta total de dos o tres eventos es igual a la suma de las respuestas individuales.

### 2.3.2 *Compasión y estudios de neuroimagen.*

Los estudios de Imagen por Resonancia Magnética funcional (IRMf) dirigidos a las emociones morales han permitido una mayor comprensión de su procesamiento tomando en cuenta los diferentes circuitos que les subyacen, así como los componentes y la naturaleza de diferentes estímulos.

El antecedente más directo del presente estudio es la investigación realizada por Mercadillo et al. (2011). Los autores observaron que los sujetos mostraban mayor activación en el giro frontal inferior, el giro postcentral, el giro occipital medio, la corteza del cíngulo anterior, la corteza fusiforme, la ínsula y el cerebelo, cuando los participantes observaban fotografías de gente sufriendo o en estado de vulnerabilidad (*vgr.* un niño llorando) en comparación con la observación de imágenes de gente en un contexto social cotidiano (*vgr.* gente esperando el autobús). También encontraron que las mujeres, en comparación con los hombres, mostraban activación en el tálamo y en los ganglios basales y una actividad más difusa en la corteza prefrontal, en el cíngulo y en el cerebelo. Adicionalmente, en los hombres pero no en las mujeres, se observó activación en la corteza parahipocampal. Estas diferencias se asocian a un procesamiento más complejo de la compasión en mujeres y probablemente a una mayor disposición para aliviar el sufrimiento ajeno. Este estudio propone que dicha respuesta es probablemente derivada de la evolución, siendo mayor su involucramiento en conductas maternas y de cuidado.

Otro estudio sobre compasión consistió en pedirle a 22 participantes que observaran bloques alternos que exponían fotografías de rostros con expresiones emocionales neutras y tristes en dos condiciones: una pasiva, y otra en la que trataran de sentir compasión de manera activa. Durante la condición activa se observó una mayor activación en la corteza frontal medial, el cíngulo subgenual, la ínsula, las sustancia nigra, el área ventral tegmental, putamen, núcleo accumbens, tálamo y la sustancia gris periacueductal; durante la compasión activa, las áreas subcorticales mostraban mayor activación con las expresiones de tristeza. Los autores concluyen que la activación del circuito mesolímbico está relacionada al procesamiento de emociones tristes y

emisión de actitudes prosociales, lo cual podría estar mediado por la abundancia de receptores a oxitocina y vasopresina en esas regiones; aunado a esto, proponen que la activación del circuito meso-estriado ventral podría relacionarse a la motivación de acercarse para aliviar el dolor ajeno lo cual produce una sensación de alivio o incluso bienestar (Kim et al., 2009).

En otro estudio, el propósito fue indagar el efecto de la práctica de la meditación budista orientada a la compasión durante la percepción de estímulos auditivos emocionales y neutros en 16 meditadores expertos y 16 voluntarios sanos. En contraste con otros tipos de meditación, en las que la persona debe concentrar su atención en un punto específico, la instrucción en este estudio fue generar un estado de amor y compasión descrito como la disposición generalizada para ayudar a los seres vivos. Se observó una mayor activación de la ínsula durante la presentación de estímulos negativos que de estímulos positivos o neutros y la activación fue mayor en meditadores expertos que en principiantes. Adicionalmente, independientemente de si eran meditadores expertos o no, se observó una mayor activación en la ínsula anterior, el cíngulo anterior y posterior, el surco temporal superior, la CPFm y el precuneus durante el estado de meditación (Lutz et al., 2008).

Aunque la compasión y la empatía son procesos estrechamente relacionados, son más abundantes en la literatura científica los estudios ligados a la empatía. Algunas de estas investigaciones se han centrado en distinguir los circuitos asociados a sus componentes cognoscitivo y afectivo. Un metanálisis que consideró 40 estudios de IRMf muestra que las regiones cerebrales activadas de modo consistente son: la ínsula anterior, el área motora suplementaria, el cíngulo medio, el tálamo dorsomedial, el mesencéfalo y la corteza orbitofrontal. Al hacer la distinción entre los componentes cognoscitivo y emocional (para cuyo fin clasificaron los artículos con contenido cognoscitivo a aquellos en los que se les indicaba a los sujetos que debían evaluar los estados emocionales o sensoriales de otro) se observó que la ínsula anterior, el giro frontal inferior, el tálamo dorsolateral (todas ellas con lateralidad derecha) y el mesencéfalo se asociaron más a la respuesta emocional, mientras que el cíngulo medio anterodorsal, el tálamo dorsolateral izquierdo y la corteza orbitofrontal ipsilateral involucraron el componente cognoscitivo. La corteza insular anterior izquierda se involucró en ambas condiciones (Fan et al., 2011).

Como se mencionó, la inferencia de estados mentales (incluidos estados emocionales) de otros, constituye la parte cognoscitiva de la empatía y de la compasión, para lo cual no es estrictamente necesario reclutar elementos del componente afectivo. En un estudio en el cual los participantes debían inferir el estado emocional de otras personas que relataban eventos autobiográficos emocionalmente fuertes –de diversas valencias-, mostraron activación cerebral en: las subregiones dorsal y rostral de la CPFm, el surco temporal superior (mentalización), el lóbulo parietal inferior derecho y la corteza premotora dorsal bilateral (sistema sensoriomotor de neuronas espejo). La ausencia de actividad en la ínsula anterior y en la corteza anterior del cíngulo evidencia las diferencias entre entender o “leer” la emoción de otro y experimentarla o compartirla. Adicionalmente, cabe recalcar que los eventos autobiográficos eran tanto negativos como positivos y que tanto la ínsula anterior como la corteza del cíngulo anterior manifiestan actividad de forma más evidente cuando el procesamiento involucra estímulos negativos (Zaki et al., 2009).

De este modo, se evidencia que la inferencia eficaz de los estados mentales de otro a través de sus expresiones faciales, corporales o del contexto, no constituye en sí misma un elemento suficiente para sentir empatía o compasión. Esta aseveración se confirma con otra investigación en la que se utilizó un modelo de empatía con trazos de figuras humanas que carecían de expresiones faciales y que simulaban situaciones sociales y no sociales con y sin contenido emocional (*vgr.*- una persona esperando el autobús *vs* una persona enferma *vs* dos personas en un funeral *vs* dos personas tomando café); no se observó actividad en la ínsula para ningún contraste, lo que denota que no hay una relación directa entre la inferencia de estados emocionales y el proceso de compartir la emoción. En contraste, fueron activados el giro frontal superior derecho, la CPFm, el lóbulo parietal inferior, el surco temporal superior, la CPFvl y la CPFvm (todas ellas de lado izquierdo) en los estímulos con contenido emocional. También se observó que la activación en la CPFm estaba correlacionada negativamente con el puntaje de la subescala de estrés personal que evalúa la tendencia de una persona a experimentar ansiedad en situaciones sociales emocionales, lo que puede indicar que dicha área también está involucrada en la modulación de afectos en situaciones sociales (Kramer et al., 2010). Otra interpretación es que la CPFm media conductas de estrés a través de la respuesta cognoscitiva en sí, es decir, un individuo presenta menos incomodidad y ansiedad cuando tiene más información del entorno o encuentra una explicación,

en este caso mediante inferencias del estado emocional del otro, por ejemplo, sabe que otro está enojado porque tuvo un mal día.

Por otro lado, el reconocimiento de expresiones faciales y corporales no es estrictamente necesario ni suficiente para emitir una respuesta empática, pues la inferencia del estado mental del otro puede darse a partir de un contexto social y esta a su vez puede dar lugar a compartir cierta emoción. Esto es lo que se ha visto que sucede durante el rechazo social: en un estudio, los participantes observaron un juego simulado donde uno de los jugadores era excluido y se observó que el autoreporte de empatía experimentada por los participantes estaba asociado positivamente a la actividad en la CPFdm, la CPFm, el precuneus, la IA y la CCA. Solamente las dos últimas se activaron en los sujetos que reportaron mayor grado de empatía en contraste con estudios de dolor físico en los que se observa activación en todos los sujetos. También se observó que la actividad en la CPFm y en la IA derecha predecían estadísticamente el grado de conducta prosocial evaluada a través de un correo electrónico escrito por los participantes y dirigido a la persona que había sido excluida, lo que sugiere que tanto la intensidad de la experiencia afectiva como los procesos de mentalización intervienen en la emisión de una respuesta prosocial. Por medio de análisis estadísticos, se sugiere que la relación entre la respuesta empática y la conducta prosocial está mediada por la CPFm, no siendo así por la IA; lo cual destaca la importancia de la habilidad de tomar la perspectiva de otro para actuar prosocialmente (Masten et al., 2011). Es posible que esto se deba a que en una situación que no muestra un factor de dolor físico o biológico cobra más importancia el factor de mentalización para emitir una respuesta empática deseable (*vgr.* tengo que inferir o imaginar cómo se siente la otra persona, su dolor no es algo evidente). Como se mencionó anteriormente, los niveles de estrés social se ven mediados por la actividad de la CPFm, por lo que puede esperarse que una persona actúe con mayor probabilidad de manera prosocial si es capaz de dominar sus niveles de estrés y ansiedad.

Aunque las regiones cerebrales involucradas son muy similares para la empatía en diferentes contextos, resulta natural que los factores sociales, en su componente cognoscitivo, puedan comprometer el componente afectivo-visceral de la compasión.

En este sentido, Singer y sus colaboradores (2006) observaron que la respuesta de empatía en la ínsula y en el cíngulo anterior estaba mediada por la percepción social que se tenía de la otra persona: después de ejecutar una tarea de teoría de juegos, los participantes manifestaban una disminución en su respuesta empática (inferida por la actividad en la IA y en la CCA) hacia los jugadores considerados injustos, pero no hacia los jugadores considerados justos. Este efecto fue observado particularmente en los hombres.

De modo similar, los autoreportes de empatía y la respuesta hemodinámica en la ínsula anterior, en la corteza del cíngulo medio y en la sustancia gris periacueductal disminuyeron cuando los participantes eran informados sobre individuos que contrajeron SIDA por compartir jeringas, comparado con el informe sobre individuos que la contrajeron por una transfusión sanguínea (Decety et al., 2009).

Por último, en un estudio transversal que utilizaba un tarea que contrastaba el daño físico intencional (*vgr.* una fotografía de una mano machucando otra mano con la puerta de un carro) contra el daño físico accidental (*vgr.* la misma imagen pero sin la primer mano machucando) se observó que los niños mostraban una activación más fuerte que los adultos en la amígdala, la ínsula y la sustancia gris periacueductal; por el contrario, los adultos mostraban mayor activación en la CPFm. Además, se observó que en los adultos existía una mayor integración funcional entre la CPFm y la amígdala; (Decety et al, en prensa; en Decety y Svetlvova, 2012). Podría inferirse que los niños procesan a un nivel más afectivo y somatovisceral la diferencia respecto al dolor infringido con dolo y con el tiempo es que se desarrolla un sistema para dilucidar las intenciones de otro.

Estos estudios resultan relevantes para conceptualizar la interacción entre los diferentes componentes neurocognitivos que integran la percepción subjetiva, la emisión de una respuesta empática y la respuesta conductual prosocial.

Para concluir esta sección se incluye una tabla que resume las regiones cuya relevancia ha sido constante en estudios de empatía y emociones morales, incluyendo la compasión.



Componente	Región	Función	Estudios de empatía o emociones morales
A	GFI	Sistema de neuronas espejo // Autocontrol	Kramer et al., 2010; Fan et al., 2011; Mercadillo et al., 2011
C	CPFm	Inferencia de estados mentales	Lutz et al., 2008; Kim et al., 2009; Zaki et al. 2009; Kramer et al., 2010; Masten et al. 2011; Decety y Svetlova, 2012
I	COF // CPFvm	Autoregulación // Valoración de estímulos	Kramer et al., 2010; Masten et al., 2011; Decety y Svetlova, 2012
A	Ínsula anterior	Estados somatos viscerales como percepción del dolor// Sistema de neuronas espejo	Lutz et al., 2008; Kim et al. 2009; Mercadillo et al., 2011
C	Polo temporal	Teoría de la mente // Abstracción social	Moll et al., 2005; Masten et al. 2011
C	Surco temporal superior	Percepción social // Atribución de la intencionalidad	Moll et al., 2005; Lutz et al., 2008; Masten et al., 2011; Decety y Svetlova, 2012
C	Unión temporoparietal	Teoría de la mente // Juicios morales	Zaki et al., 2009; Decety y Svetlova, 2012.
A,C,I	Cíngulo anterior	Subgenual: Modulación emocional Dorsal: Monitoreo de errores y toma de decisiones	Singer et al., 2006; Fan et al., 2011 Mercadillo et al., 2011; Masten et al., 2011; Decety y Svetlova, 2012
C	Cíngulo posterior	Procesamiento de información relevante al yo // Orientación del cuerpo en el espacio	Lutz et al., 2008; Masten et al., 2011; Mercadillo et al., 2011
C	Precuneus	Autoconciencia //Representaciones relacionadas al yo.	Lutz et al., 2008; Masten et al., 2011; Mercadillo et al., 2011
-	Putamen	Regulación del movimiento	Kim et al., 2009; Mercadillo et al., 2011
A	Sistema límbico	Procesamiento emocional y aprendizaje	Zaki et al., 2009; Decety y Svetlova, 2012
-	Tálamo	Modulación sensorial	Kim et al., 2009; Fan et al., 2011; Mercadillo et al., 2011
A	Sustancia gris periacueductal	Modulación del dolor // Conductas gregarias	Kim et al., 2009; Decety y Svetlova, 2012

Tabla 2. Se muestran las diferentes áreas que se han relacionado al proceso compasivo, empático y/o moral conforme a distintos estudios de IRMf y el componente al que se presume que corresponden: A- afectivo; C- cognoscitivo; I- integración.

### 2.3.3 Diferencias de género.

Es bien sabido que la biología y la cultura juegan un papel determinante en la formación de los

individuos, lo cual puede derivar en diferencias importantes entre hombres y mujeres. La evidencia científica con respecto a si los correlatos neuronales de procesos afectivos, empáticos y morales son distintos en hombres y en mujeres ha sido controversial.

Mercadillo et al. (2011) encontraron diferencias entre hombres y mujeres en una tarea en la cual se presentaban imágenes de gente en un estado vulnerable (enfermedad, guerra, pobreza, etc.) e imágenes neutras de fondo. Cuando las imágenes de fondo eran objetos neutros, las mujeres mostraban una mayor activación en el cíngulo anterior y cuando las imágenes de fondo eran imágenes sociales neutras, solamente las mujeres mostraron actividad en el giro frontal superior izquierdo y en el tálamo; en ambos contrastes los hombres no mostraron activación en ninguna de estas regiones. Los resultados sugieren un procesamiento más elaborado de estímulos inductores de compasión en mujeres que en hombres, lo cual puede ser derivado tanto de procesos evolutivos biológicos como procesos de aprendizaje social.

Michalska et al. (2013) presentaron a participantes de 4 a 17 años una tarea en la cual mostraban videos breves de actos de dolor físico intencionado, accidental y videos sin dolor. Al realizar un análisis por regiones de interés (amígdala, ínsula, aMCC, vmPFC, IFG) no se encontraron diferencias entre sexos ni entre diferentes edades. Tampoco encontraron diferencias en la dilatación pupilar de acuerdo al sexo (pero sí entre las diferentes condiciones). Por el contrario, encontraron que las niñas y adolescentes tenían un mayor puntaje en su auto-reporte sobre el grado de disgusto que les provocaban los videos con contenido de dolor. Curiosamente, la edad correlacionó positivamente con los puntajes de una escala para medir niveles de empatía en niñas y negativamente en los niños. Los autores proponen dos explicaciones para el contraste encontrado entre las diferencias halladas en el auto-reporte y en la escala de empatía y la falta de ellas en las medidas fisiológicas: a) las personas tienden a responder de acuerdo a las expectativas sociales que son basadas en estereotipos culturales y b) ambas medidas pueden representar aspectos diferentes de la empatía, de modo que las medidas fisiológicas se asocien más con el componente afectivo y el auto-reporte a la parte de la comprensión o entendimiento. Argumentan que en neonatos y niños pequeños no se han observado diferencias entre sexos en medidas de contagio emocional, pero existe un componente de la empatía que cambia entre los sexos a través del tiempo y que pueden involucrar la acción de hormonas liberadas durante la adolescencia, así

como la educación y la cultura. Por último, un aspecto relevante de la tarea utilizada es que se omitía la visibilidad de caras, lo que también puede explicar la falta de diferencias encontradas.

Mediante la revisión de estudios con neuroimagen sobre el reconocimiento de emociones, Whittle y colaboradores (2011) observaron que aunque hombres y mujeres reclutan las mismas áreas de actividad cerebral en dicho proceso, las mujeres manifiestan, en mayor medida, actividad en el cíngulo anterior, en el tálamo, en la amígdala, en la corteza prefrontal inferior, en el giro temporal medio y en el polo temporal, en tanto, los hombres manifiestan más actividad en la corteza parietal inferior.

En conjunto, es posible que aunque hombres y mujeres presenten solapamiento entre las regiones involucradas para procesar la compasión, existen diferencias que sugieren que el procesamiento no es igual en al menos alguno de los componentes (afectivo o cognoscitivo).

#### *2.3.4 Conectividad funcional.*

Si bien los estudios de mapeo cerebral con la señal BOLD han sido de gran utilidad y representaron un gran avance en la comprensión del funcionamiento cerebral y procesos cognoscitivos, cada vez se hace más evidente la necesidad de entender los procesos mentales como el resultado de la activación simultánea de una serie de regiones cuya interacción e integración dan un resultado particular diferente al de la activación de las regiones de modo independiente.

La conectividad funcional estudia la manera en que los componentes de sistemas neurales distribuidos se organizan, interrelacionan y se integran para ejecutar un determinado proceso. De modo operacional, se puede caracterizar la conectividad funcional como la cuantificación (comúnmente mediante correlaciones) de las interacciones entre diferentes áreas cerebrales que están involucradas simultáneamente en un mismo proceso (Rogers et al., 2007).

Un tipo de análisis de conectividad funcional es la Interacción Psicofisiológica (PPI-

psychophysiological interaction), esta consiste en determinar qué áreas incrementan su activación en relación a una región de interés, en un contexto determinado, es decir, durante una tarea psicológica en particular. En otras palabras, el análisis PPI se deriva de la relación entre la respuesta hemodinámica de una región determinada (la máscara de la semilla) y la de la respuesta hemodinámica de otras regiones como resultado de una respuesta psicológica. Un incremento en la relación entre regiones cerebrales que es específico de cierto contexto sugiere un incremento en el intercambio de información derivado del proceso particular en cuestión (O'Reilly et al., 2012).

Para lograr esto, el método está basado en un modelo lineal general que considera tres eventos como regresores: el patrón de activación global derivado de la presentación de un proceso psicológico, el patrón de la respuesta hemodinámica de una región de interés a través del tiempo y la interacción de los dos anteriores. De este modo, el patrón de activación del último evento resulta en regiones cuyo curso de la respuesta hemodinámica mantiene una dependencia estadística con la región de interés durante el periodo en que el sujeto realiza un proceso cognoscitivo determinado. Así, si quisiéramos explorar si la corteza prefrontal y el hipocampo intercambian información durante un paradigma de navegación espacial, marcaríamos una semilla (con una máscara) sobre el hipocampo, y con el modelo lineal general descrito obtendríamos qué regiones guardan una relación (dependencia estadística) con el patrón de respuesta de nuestra semilla mientras el participante realiza el proceso de navegación espacial.

Un ejemplo de la aplicación de este análisis conforme a nuestros objetivos es el estudio de Decety et al. (2009) en el que aplicaron un paradigma que compara la percepción al dolor físico infringido intencional o accidentalmente a ocho adolescentes agresivos con desorden de la conducta y ocho adolescentes controles; además de observar que los jóvenes con desórdenes de la conducta mostraban mayor activación en la red del dolor, la amígdala, el estriado ventral y el polo temporal, los análisis de conectividad funcional arrojaron que había una disrupción de la conectividad entre la CPF y la amígdala en estos jóvenes cuando observaban las imágenes de dolor infringido intencionalmente.

Actualmente no se encuentra en la literatura científica algún estudio que haya comparado la conectividad funcional en hombres y mujeres durante procesos compasivos o empáticos.

### **3. JUSTIFICACIÓN**

Los cambios en el estilo de vida derivados del constante crecimiento poblacional aunado a otros factores sociales han provocado efectos en el desarrollo socioemocional, tal como se señaló en la sección anterior (Konrath et al., 2011). El estudio científico de procesos afectivos resulta relevante para comprender y canalizar recursos aplicados al terreno de la educación fomentando un adecuado desarrollo socioemocional desde la infancia; tratamiento de patologías (*vgr.* trastorno antisocial de la personalidad); y desarrollo de leyes y políticas que fomenten una adecuada convivencia social.

El uso de técnicas de neuroimagen ha resultado muy útil para la comprensión de diversos procesos cognoscitivos y emocionales. El entendimiento a nivel neural proporciona una base sólida para la formulación de hipótesis y teorías sobre el mecanismo de funcionamiento, en este caso, de la percepción de estímulos de sufrimiento y la emisión de una respuesta afectiva deseable.

Aunque dicho mecanismo esté regulado por circuitos que involucran diferentes regiones cerebrales, la corteza prefrontal, la ínsula y la corteza del cíngulo anterior se consideran representativas en la red del proceso compasivo. Por un lado, la corteza insular emite una respuesta ligada a la percepción de estados somáticos y asociada a la sensación de dolor empático; por otro lado, la corteza prefrontal la contextualizaría cognoscitivamente y el cíngulo podría estar mediando ambos procesos.

No obstante, la respuesta compasiva no es el resultado de la suma de componentes aislados sino de su integración. En este sentido, se hace necesario el estudio de conectividad funcional para describir la dependencia estadística entre regiones cerebrales con base en su respuesta hemodinámica (O'Reilly et al., 2012). Diferentes perspectivas teóricas comparten la visión de

que los componentes afectivo y cognoscitivo de la empatía y compasión son constructos independientes que en algún punto se integran (Moll et al., 2005; Decety y Svetlova, 2012). Sin embargo, pocos modelos hacen una propuesta de cómo se da esta integración y no hay un acuerdo claro al respecto. Al estar las cortezas del cíngulo anterior y la orbitofrontal relacionadas con la toma de decisiones y asignación de valor a estímulos, estas áreas se proponen como posibles áreas de integración.

Por último, dados los reportes sobre las diferencias de género encontradas en el procesamiento de emociones y de la compasión, resulta importante indagar si estas diferencias también se manifiestan en la respuesta hemodinámica y la conectividad de los componentes neurobiológicos involucrados en la cognición y la afectividad de la compasión. Esto último puede dar luz para esclarecer en qué radican las diferencias hasta ahora encontradas, si estas dependen de los diferentes componentes del sistema y/o en las interacciones entre diferentes procesos.

#### **4. HIPÓTESIS**

H(1): Se observará conectividad funcional de las cortezas orbitofrontal y cingular anterior con las cortezas insular y prefrontal media durante la visualización de imágenes inductoras de compasión.

H(2): Se encontrarán diferencias entre ambos géneros respecto al porcentaje de cambio de la respuesta hemodinámica en las cortezas cingular, insular anterior y prefrontal, y en su conectividad funcional durante la visualización de imágenes inductoras de compasión.

#### **5. OBJETIVOS**

Objetivos generales.

♣ Observar la interacción entre los diferentes procesos neurocognoscitivos involucrados en la compasión, a partir de la conectividad funcional de las cortezas prefrontal media, orbitofrontal, insular y cingular anterior.

△ Analizar las diferencias de género respecto al reclutamiento de las cortezas prefrontal, cingular e insular, y en su conectividad funcional.

Objetivos específicos.

△ Realizar los análisis de interacción psicofisiológica (PPI) para indagar la conectividad funcional de las cortezas prefrontal media, orbitofrontal, insular y cingular anterior durante la percepción de estímulos inductores de compasión.

△ Extraer el porcentaje de cambio de la respuesta hemodinámica de las cortezas prefrontal, cingular e insular durante la percepción de estímulos inductores de compasión en relación a la percepción de objetos neutros o estímulos sociales neutros.

△ Realizar los análisis estadísticos correspondientes para indagar las diferencias entre hombres y mujeres respecto al porcentaje de cambio de la respuesta hemodinámica y realizar análisis independientes para hombres y mujeres con la herramienta PPI.

## **6. METODOLOGÍA**

### *Participantes*

36 voluntarios: 21 mujeres y 15 hombres diestros con escolaridad igual o mayor de doce años (edad promedio [D.E.]: mujeres=34.1[9.9], hombres=31[9.2],  $P=.32$ ) (Ver Fig. 10). Los participantes contestaron la lista SCL90 (Symptom Check List) para descartar la presencia de trastornos psiquiátricos y la Escala de Edimburgo para verificar lateralidad motriz predominantemente derecha. Todos los participantes otorgaron consentimiento informado (Anexo A) después de haber sido entrevistados de acuerdo a la guía elaborada en el Laboratorio de Imagen Funcional Cerebral del Instituto de Neurobiología de la UNAM para cerciorar que los

sujetos cumplieran con los criterios de inclusión y de seguridad requeridos. El protocolo fue aprobado por el Comité de Bioética del Instituto de Neurobiología (INB).

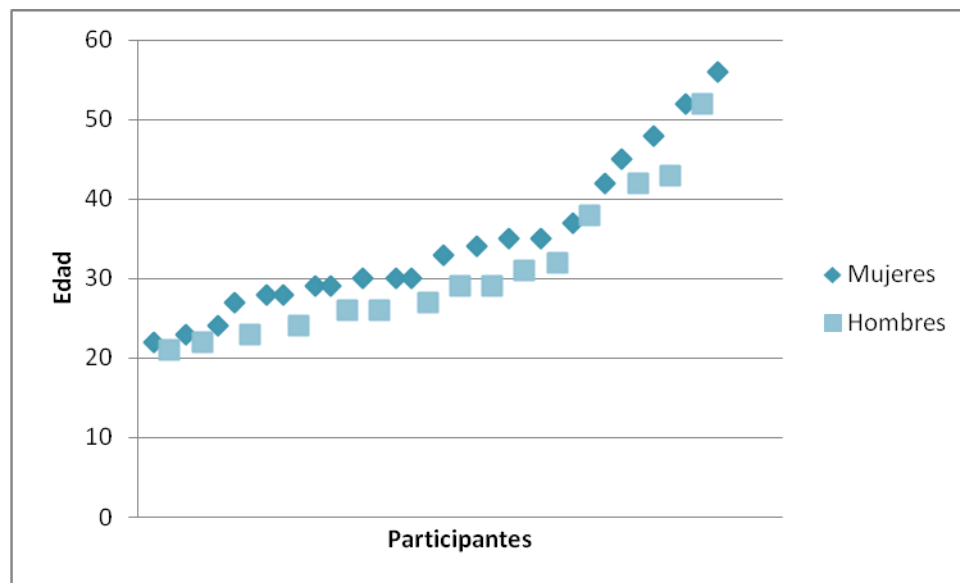


Figura 10. Distribución de los participantes en el estudio conforme a su edad y sexo. Cada rombo representa una participante mujer y cada cuadrado un participante hombre.

### *Tarea cognoscitiva*

Se utilizó un diseño de paradigma relacionado a eventos que consistió en la presentación de tres series presentadas de manera aleatoria. Cada serie contrastaba dos tipos de estímulos: a) Imágenes inductoras de compasión vs Imágenes sociales neutras; b) Imágenes inductoras de compasión vs Imágenes de objetos neutros y c) Imágenes sociales neutras vs imágenes de objetos neutros. El objetivo de utilizar estas series fue obtener la señal de la respuesta hemodinámica cuando el participante experimentaba compasión descartando el componente de respuesta a escenas sociales (a), experimentaba compasión sin descartar la activación ligada a escenas sociales (b) y percibía escenas sociales que no evocaban compasión (c).

Cada serie constó de 100 fotografías extraídas del Sistema Internacional de Fotografías Afectivas, las cuales fueron previamente evaluadas y validadas en la población mexicana para



confirmar que eran imágenes inductoras de compasión (Mercadillo et al., 2007). El porcentaje de presentación de estímulos de interés en cada serie fue de 14 %, quedando 86 fotografías para los estímulos de fondo. De este modo, las series quedaron constituidas de la siguiente manera:

- a) 86 imágenes de objetos neutros y 14 imágenes sociales inductoras de compasión.
- b) 86 imágenes sociales neutras y 14 imágenes sociales inductoras de compasión.
- c) 86 imágenes de objetos neutros y 14 imágenes sociales neutras.

Las cien fotografías en cada serie fueron presentadas de manera aleatoria y cada una se presentaba durante 2500 ms seguida de un punto de fijación durante 500 ms (Fig. 11).



Figura 11. Ejemplo de la secuencia de fotografías mostradas durante la serie Objetos neutros vs Imágenes inductoras de compasión.

Ante la presentación de cada estímulo, los participantes debían indicar mediante un par de botoneras si las imágenes les causaban o no compasión, entendida esta como: *un sentimiento de pena o aflicción, desencadenada cuando se percibe el sufrimiento o pena de otro y cuya tendencia es confortar o aliviar el sufrimiento percibido*. La respuesta de los participantes fue registrada en un diseño contrabalanceado (la mitad de los participantes respondían que sí con la botonera izquierda y que no con la derecha, y el resto lo hacía de manera inversa).

#### *Adquisición de Imágenes Funcionales*

Una parte (24 participantes) de la muestra fue registrada en el Instituto Nacional de Neurología y Neurocirugía en la Cd. De México, y otra parte (12 participantes) en la Unidad de Resonancia Magnética del Instituto de Neurobiología, UNAM. Los resonadores magnéticos de ambas instituciones fueron equipos General Electric de 3.0 T (Fig. 12). Se utilizó una secuencia de

pulsos EPI-GRE programada con TR/TE = 3000/30 ms, en una matriz de 64x64 y FOV=256 x 256 mm en el plano de captura y rebanada de 4mm de espesor con cero de separación resultando en un voxel isométrico de 4x4x4 mm<sup>3</sup>.



Figura 12. Fotografía del resonador magnético de la Unidad de Resonancia Magnética del Instituto de Neurobiología. El participante se recuesta sobre la camilla y es introducido hacia el interior del equipo; a través de un dispositivo que consta de un sistema de espejos puede observar las imágenes proyectadas en una pantalla.

### *Análisis de imágenes.*

Se utilizó la herramienta FEAT (fMRI Expert Analysis Tool) Versión 5.98 del programa FSL (FMRIB's Software Library).

Para los análisis de cada sujeto (primer nivel) se aplicaron:

- Corrección de movimiento con MCFLIRT (Jenkinson et al., 2002).
- Suavizado espacial con un kernel gaussiano FWHM de 6 mm.
- Normalización de la intensidad de los datos.
- Filtro temporal “highpass“.
- Extracción BET (Smith, 2002).

Los mapas estadísticos paramétricos fueron umbralizados de acuerdo a la teoría de campos

aleatorios (corrección por clústers) para minimizar los errores estadísticos tipo I, introducidos por las comparaciones múltiples (Worsley, 2001). El umbral utilizado para determinar los clusters fue  $Z > 2.3$  con un nivel de significancia de  $p < .05$ .

Posteriormente, se realizó el análisis de segundo nivel (promedio de los 36 sujetos, de las 21 mujeres y de los 15 hombres) para la serie Imágenes inductoras de compasión vs Imágenes sociales neutras, para que fuera utilizado como base para la elaboración de máscaras usadas en el análisis de conectividad funcional.

### *Conectividad funcional.*

Para realizar el análisis de interacción psicofisiológica, fueron elaboradas cuatro máscaras en nuestras regiones de interés de acuerdo con el método descrito por O'Reilly et al. (2012). Estas máscaras fueron dibujadas sobre el mapa promedio de activación de la serie Imágenes inductoras de compasión vs Imágenes sociales neutras. Las máscaras fueron localizadas en la corteza prefrontal dorsomedial derecha, en la corteza orbitofrontal izquierda, en la corteza del cíngulo anterior izquierdo y en la ínsula anterior derecha (Tabla 3); todas se elaboraron en el programa FSLview y consistieron en volúmenes isométricos de 3x3x3 voxeles (Fig. 13). Posteriormente con la herramienta featquery de FSL fueron localizadas estas máscaras en cada sujeto y se extrajo el curso de activación en esa región a través del tiempo.

Se realizó el análisis de conectividad funcional (PPI) de la serie Imágenes inductoras de compasión vs Imágenes sociales neutras para cada sujeto utilizando un modelo de interacción con el software FSL y se realizaron los análisis de segundo nivel para promediar los PPI de los sujetos. De este modo, el objetivo fue obtener qué áreas conectaban con nuestras regiones de interés (acotadas en las cuatro máscaras) durante la visualización de imágenes inductoras de compasión en relación a la visualización de imágenes sociales neutras.

Región	Coordenadas MNI
Corteza prefrontal dorsomedial (derecha)	4, 18, 48 0, 18, 50
Corteza orbitofrontal (izquierda)	-44, 22, -4 -38, 28, -4
Corteza insular anterior (derecha)	42, 16, 0 42, 22, -2
Corteza del cíngulo anterior (izquierda)	-2, 16, 32 -2, 14, 34

Tabla 3. Coordenadas del atlas MNI (Montreal Neurological Institute) de las máscaras utilizadas para el análisis de conectividad funcional.

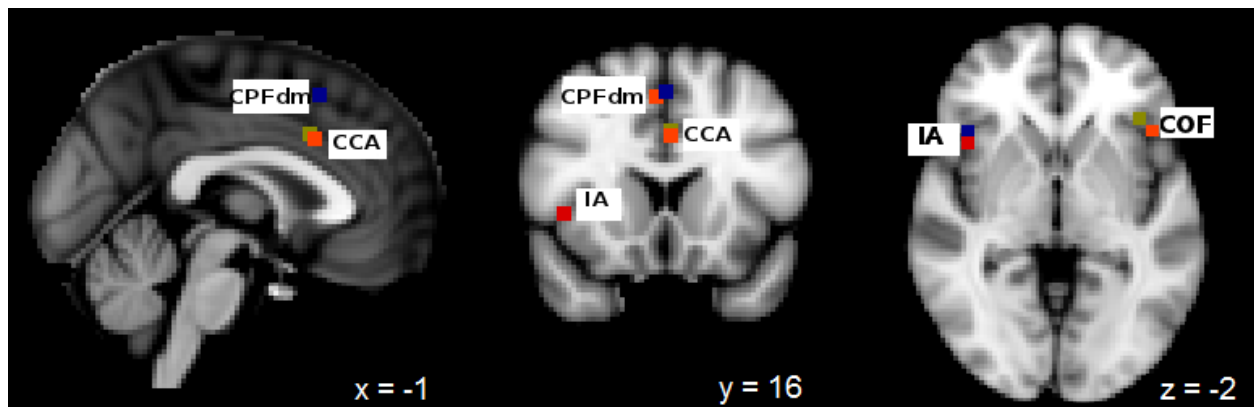


Figura 13. Máscaras utilizadas para los análisis de conectividad funcional. Dos en cada región: corteza prefrontal dorsomedial (CPFdm); corteza del cíngulo anterior (CCA); ínsula anterior (IA); y corteza orbitofrontal (COF).

#### *Porcentaje de cambio de la respuesta hemodinámica.*

Con el objetivo de obtener el porcentaje de cambio de áreas acotadas anatómicamente, se extrajeron máscaras a partir del atlas Harvard-Oxford (Desikan et al., 2006; Frazier et al., 2005; Goldstein et al., 2007; Makris et al., 2006) y colocadas sobre el mapa funcional de cada sujeto con la herramienta featquery de FSL 4.1.9. Se extrajeron: una máscara para la corteza insular, dos para la corteza cingular (anterior y posterior) y nueve para la corteza prefrontal (polo frontal, giros frontales superior, medio, inferior pars triangularis e inferior pars opercularis, operculum frontal, corteza orbitofrontal, corteza central media y giro paracingulado). La misma herramienta fue utilizada para obtener los valores del porcentaje de cambio en cada una de las máscaras para cada sujeto y respecto a las tres series, de modo que se obtuvo el porcentaje de cambio de la

respuesta hemodinámica obtenido mientras se visualizaban imágenes inductoras de compasión en relación a estímulos sociales y objetos neutros, y de estímulos sociales en relación a objetos neutros.

### *Diferencias de género*

Se aplicó un análisis de varianza de dos vías para investigar las diferencias sexuales para el porcentaje de cambio en la respuesta hemodinámica de las doce máscaras en las tres series.

Los análisis de conectividad funcional fueron realizados con el promedio de los análisis de hombres y mujeres juntos y por separado.

## **7. RESULTADOS**

A través de las respuestas emitidas por las botoneras fue posible cerciorarse que las imágenes objetivo efectivamente inducían una respuesta compasiva en los participantes (Anexo B).

### *Conectividad funcional.*

Al realizar el análisis del promedio de los PPI de hombres y mujeres juntos, no se obtuvieron resultados significativos al colocar la semilla en la corteza prefrontal dorsomedial y en la corteza orbitofrontal. No obstante, cuando se realizaron los análisis para el promedio de hombres y mujeres por separado sí se obtuvieron resultados significativos ( $p < .01$ ) en todos los casos.

Cuando la semilla fue colocada en la corteza prefrontal dorsomedial derecha, las mujeres mostraron conectividad con otro cluster (conjunto de voxels aledaños) en la misma región, el giro frontal inferior, la corteza opercular central, el giro parahipocampal, el giro del cíngulo posterior, el tálamo y el cerebelo. Los hombres mostraron conectividad con diferentes regiones del cerebelo (Tabla 4 y Figura 14).

Corteza prefrontal dorsomedial derecha	Región	Coordenadas MNI (x,y,z)
Mujeres	Giro paracingulado (derecho)	10,44,30
	Giro frontal inferior (izquierdo)	-52, 10, 14
	Corteza opercular central (izquierda)	-62, -6, 8
	Giro parahipocampal (bilateral)	-28, -22, -20 y 24, -28, -20
	Giro del cíngulo posterior (izquierda)	-6, -22, 44
	Tálamo (bilateral)	8,-32,2
	Cerebelo VIIIa (derecho)	30, -54, -54
Hombres	Cerebelo Crus II (bilateral)	36, -68, -44 y -24, -68, -46
	Cerebelo VIIa (bilateral)	24, -56, -48 y -28,-56,-48
	Cerebelo VIIb (bilateral)	10,-72,-40 y -26, -68, -48
	Cerebelo Vermis	0,-64,-48

Tabla 4. Regiones funcionalmente conectadas de acuerdo al análisis de interacción psicofisiológica (PPI) con la semilla colocada en la corteza prefrontal dorsomedial derecha en mujeres y en hombres durante la serie Imágenes inductoras de compasión vs Imágenes sociales neutras.

Al ser la corteza orbitofrontal izquierda la semilla para el análisis de conectividad funcional, las mujeres mostraron conectividad con el polo frontal y los hombres con el putamen, el giro temporal medio, el giro parahipocampal y la amígdala (Tabla 5 y Fig. 14).

Corteza orbitofrontal izquierda	Región	Coordenadas MNI (x,y,z)
Mujeres	Polo frontal (izquierdo)	-44,44,-6
Hombres	Putamen (derecho)	26, 10, -2
	Giro temporal medio (derecho)	52, -14, -14
	Giro parahipocampal (izquierdo)	-24, -34, -20
	Amígdala (izquierda)	-18, -6, -22

Tabla 5. Regiones funcionalmente conectadas de acuerdo al análisis de interacción psicofisiológica con la semilla colocada en la corteza orbitofrontal izquierda en hombres y en mujeres durante la serie Imágenes inductoras de compasión vs Imágenes sociales neutras.

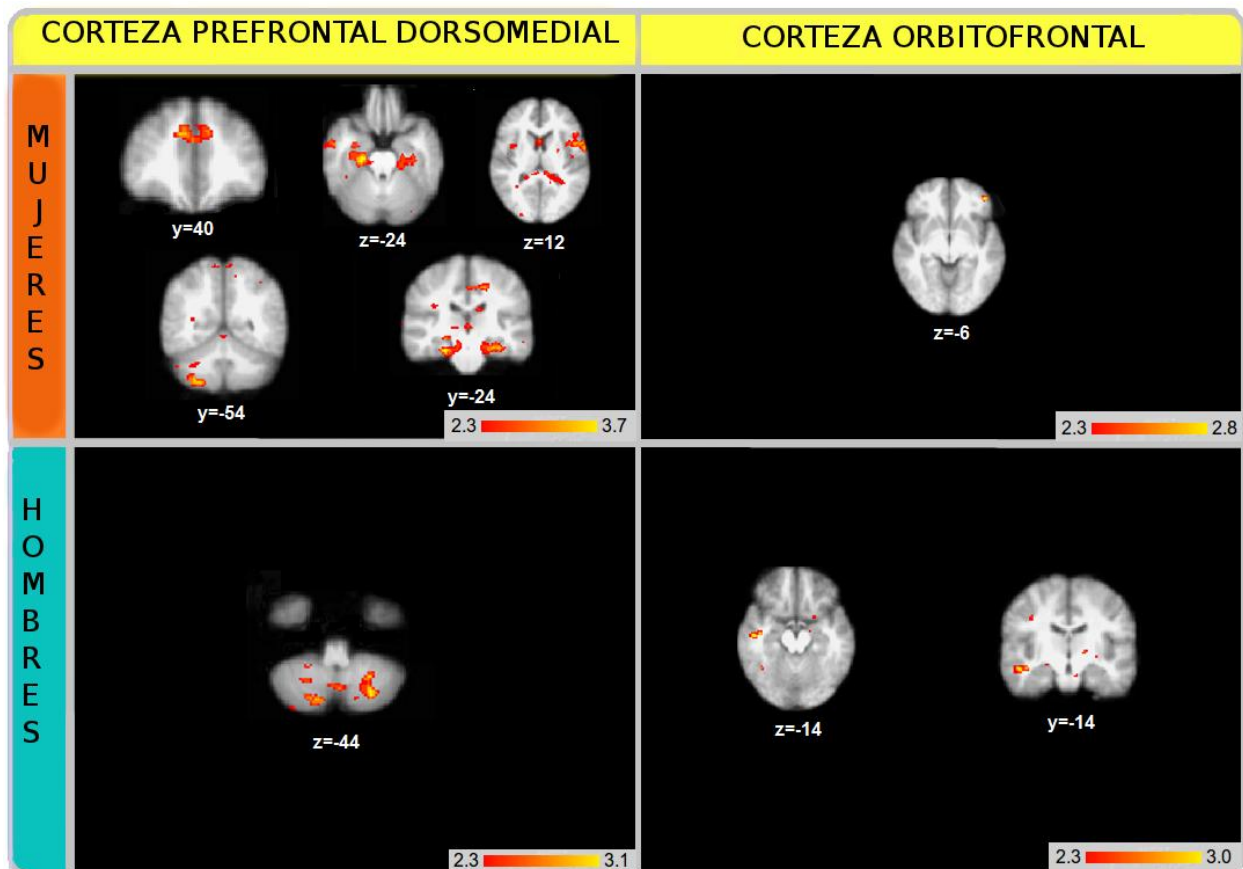


Figura 14. Imágenes del promedio de conectividad funcional para hombres y mujeres cuando la semilla fue colocada en la corteza prefrontal dorsomedial (derecha) y en la corteza orbitofrontal (izquierda) en mujeres y hombres durante la serie Imágenes inductoras de compasión vs Imágenes sociales neutras.

En el análisis con la semilla colocada en la ínsula anterior derecha, las regiones con las que se presentó conectividad en mujeres y hombres juntos fueron: corteza orbitofrontal, giro frontal inferior bilateral, giro temporal medio, giro parahipocampal, corteza fusiforme, cerebelo, giro lingual, precuneus y corteza occipital lateral (Tabla 6 y Figura 15).

Cuando se realizó el análisis en el grupo de mujeres, las regiones significativas fueron: polo frontal, giro frontal inferior y giro temporal medio. En los hombres se observó conectividad con: cerebelo, polo temporal, giro temporal inferior, corteza fusiforme, corteza orbitofrontal, fisura calcarina, corteza occipital lateral, precuneus, giro post-central, lóbulo parietal superior y giro frontal superior (Tabla 6 y Figura 15).

Ínsula anterior derecha	Región	Coordenadas MNI (x,y,z)
Mujeres	Polo frontal (derecho)	16, 44, 40
	Giro frontal inferior (bilateral)	-58, 14, 18 y 60, 14, 2
	Giro temporal medio (izquierdo)	-50, -10, -24
Hombres	Cerebelo Crus II (izquierdo)	-42 -56 46
	Polo temporal (izquierdo)	-52 6 -32
	Giro temporal inferior (izquierdo)	-58 -8 -32
	Region V de cerebelo (bilateral)	-28, -36, -28 y 28, -34, -26
	Corteza fusiforme (bilateral)	-30, -38, -24 y 32, -36, -24
	Corteza orbitofrontal (bilateral)	-34, 26, -12 y 42, 28, -14
	Fisura calcarina (izquierda)	-14, -64, 8
	Corteza occipital lateral (derecha)	44, -68, 14
	Precuneus (izquierdo)	-10, -72, 24
	Giro post central (derecho)	36, -20, 40 y 40, -20, 40
	Lóbulo parietal superior (derecho)	18, -54, 52
	Giro frontal superior (izquierdo)	-16, 8, 62
Todos	Corteza orbitofrontal (izquierda)	-32, 24, -10
	Giro frontal inferior (bilateral)	58, 16, 4 y -52, 16, 6
	Giro temporal medio (izquierdo)	-54, -8, -26
	Giro parahipocampal (izquierdo)	-24, -28, -22
	Corteza fusiforme (derecha)	28, -38, -22
	Cerebelo VI (derecho)	30, -44, -24
	Cerebelo Crus I (derecho)	46, -58, -36
	Giro lingual (derecho)	24, -54, 8
	Corteza supracalcarina/precuneus (izquierda)	-12, -68, 18
	Corteza occipital lateral (derecha)	28, -80, 24 y 24, -78, 24

Tabla 6. Regiones funcionalmente conectadas de acuerdo al análisis de interacción psicofisiológica con la semilla colocada en la corteza insular derecha en hombres y en mujeres durante la serie Imágenes inductoras de compasión vs Imágenes sociales neutras.



Cuando la semilla se colocó en la corteza del cíngulo anterior izquierdo, el promedio de hombres y mujeres mostró significancia en el polo frontal, el giro frontal inferior, el putamen, el operculum frontal, el giro parahipocampal, cerebelo y precuneus. Las mujeres mostraron conectividad funcional con el precuneus y los hombres con el polo frontal, el giro paracingulado, el polo temporal, el putamen, el giro frontal inferior, giro frontal medio, ínsula, giro post-central, giro supramarginal, operculum central, lóbulo parietal superior y cerebelo (Tabla 7 y Figura 15).

Corteza cingular anterior izquierda	Región	Coordenadas MNI (x, y, z)
Mujeres	Precuneus (derecho)	16, -64, 26
Hombres	Polo frontal (izquierdo)	-22, 62, 14 -4, 58, -2 -42, 50, -2
	Giro paracingulado - CPFdm (izquierdo)	-6, 52, 0
	Polo temporal (derecho)	46, 20, -30
	Putamen (bilateral)	-20, 8, 6 y 24, 8, 6
	Giro frontal inferior (derecho)	44, 12, 24
	Giro frontal medio (derecho)	42, 14, 44
	Ínsula (derecha)	38, -6, 10
	Giro post central (bilateral)	-56, -16, 24 y 50, -24, 42
	Giro supramarginal (bilateral)	-56, -24, 28 y 68, -24, 30
	Operculum central (izquierdo)	-52, -16, 20
	Lóbulo parietal superior (derecho)	34, -42, 50
	Cerebelo (derecho)	32, -46, -42
Todos	Polo frontal (izquierdo)	-42, 52, 0 y 46, 40, -4
	Giro frontal inferior (derecho)	54, 16, 4
	Putamen (bilateral)	-20, 4, 6 y 22, 10, 6
	Operculum frontal (derecho)	38, 14, 16
	Giro parahipocampal (izquierdo)	-26, -30, -22
	Cerebelo (derecho)	28, -48, -38
	Precuneus (derecho)	16, -60, 28

Tabla 7. Regiones funcionalmente conectadas de acuerdo al análisis de interacción psicofisiológica con la semilla colocada en la corteza del cíngulo anterior izquierda en hombres y en mujeres durante la serie Imágenes inductoras de compasión vs Imágenes sociales neutras.

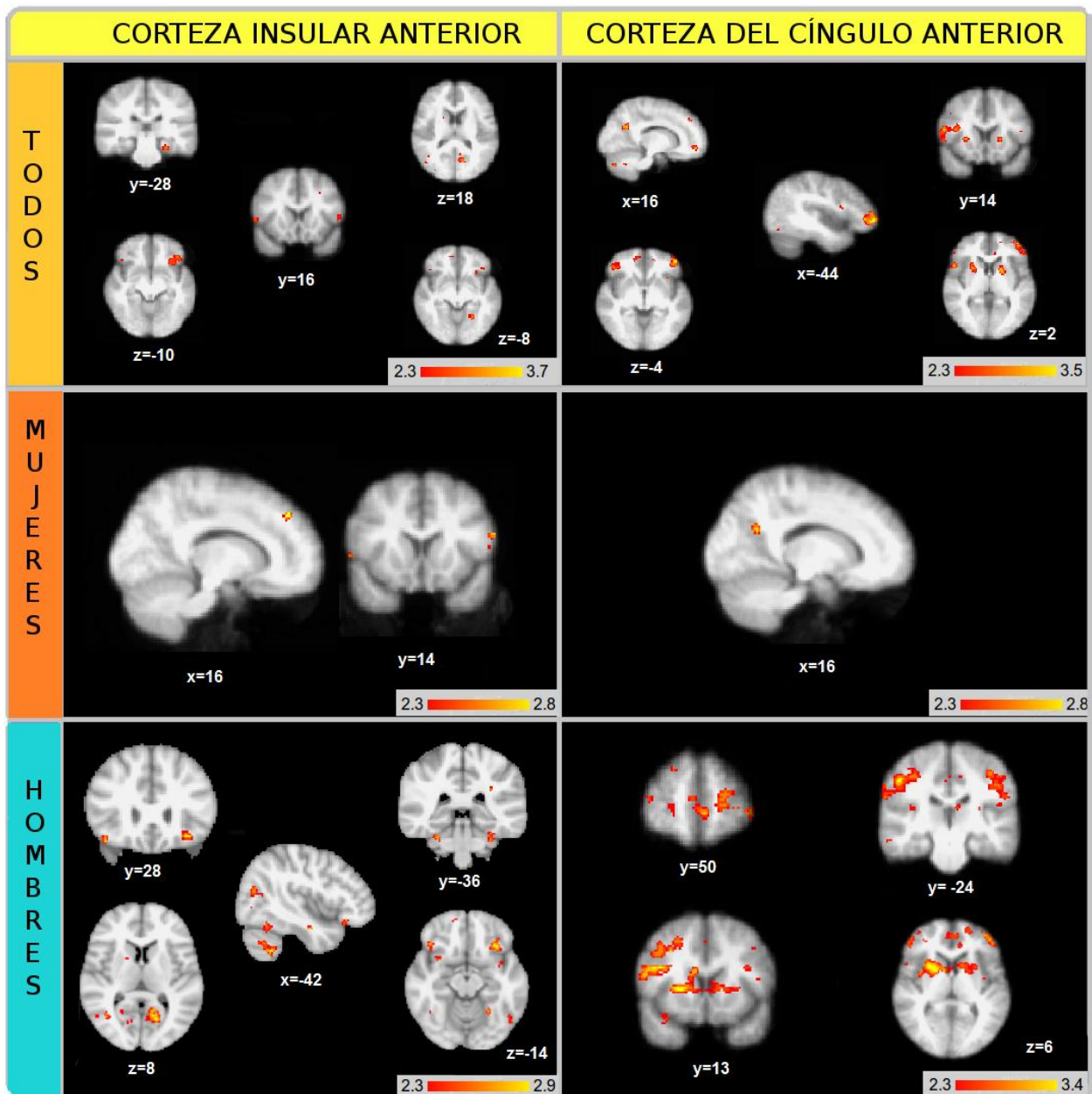
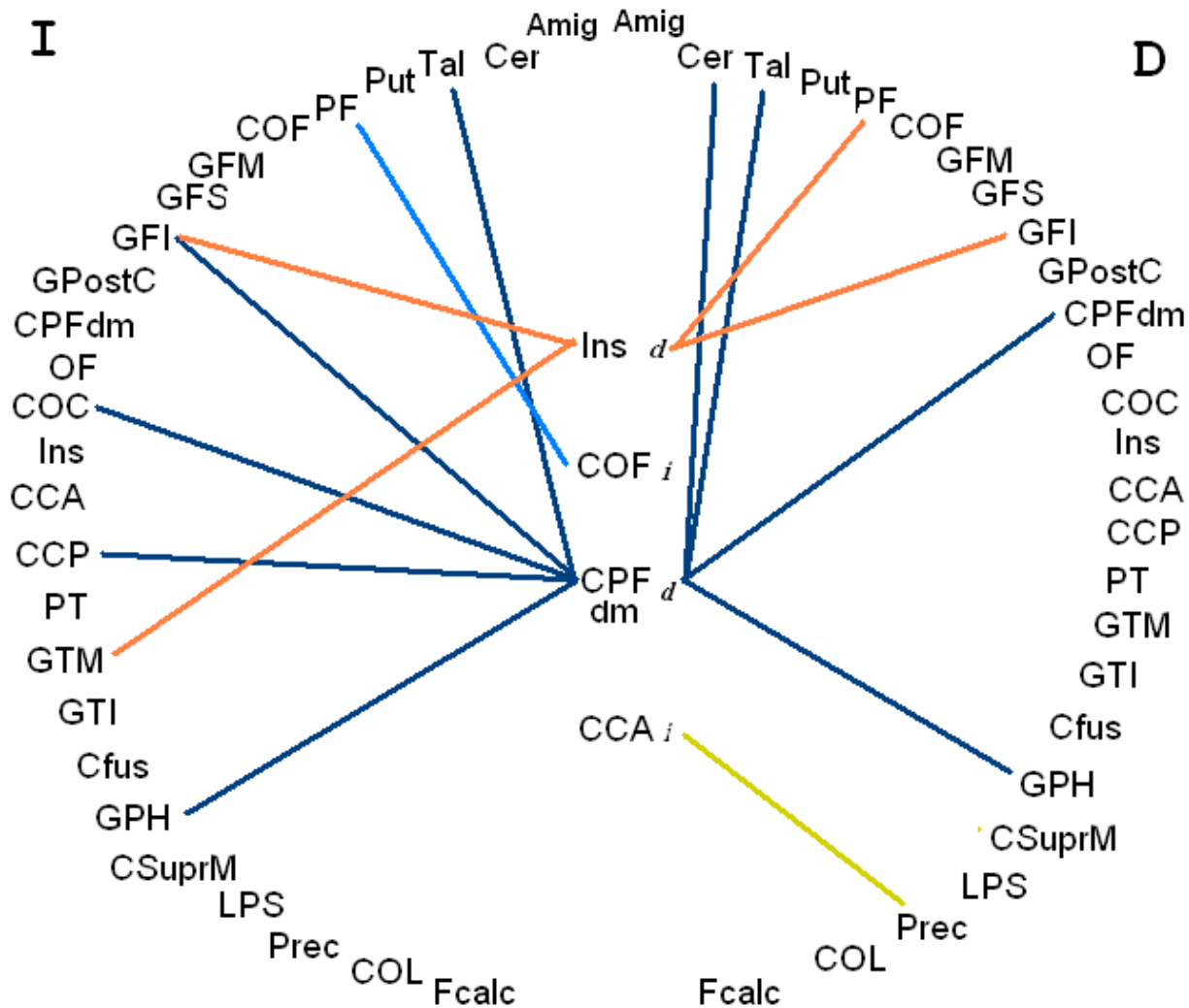


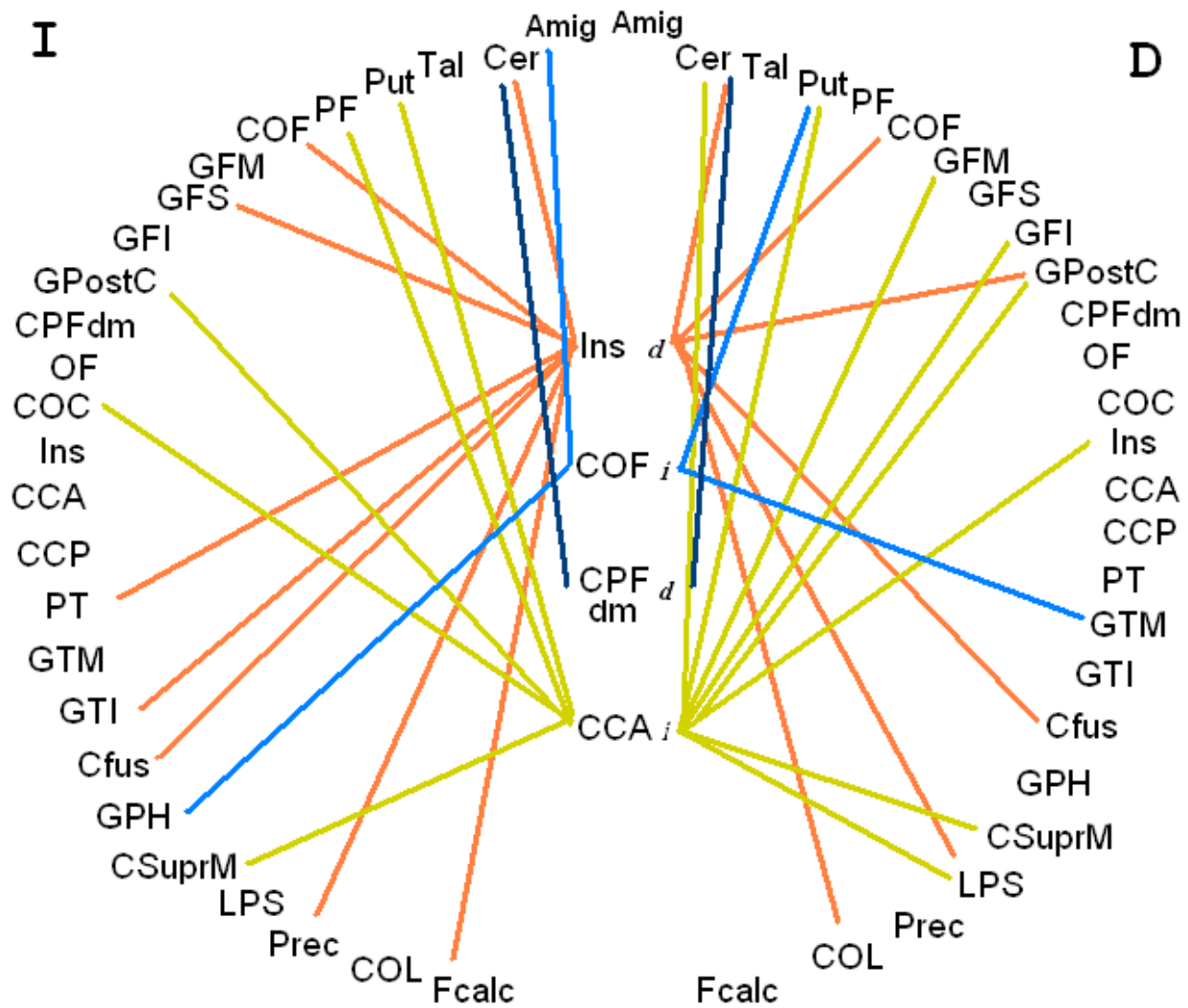
Figura 15. Imágenes del promedio de conectividad funcional para hombres y mujeres cuando la región de interés fue en la corteza de la ínsula anterior (a la izquierda) y en la corteza del cíngulo anterior (a la derecha) en mujeres y hombres durante la serie Imágenes inductoras de compasión vs Imágenes sociales.

Para finalizar esta sección se presentan diagramas de conectividad que resumen los resultados de conectividad funcional para hombres y mujeres de acuerdo a las cuatro regiones de interés.



A) MUJERES

Figura 16A. En estos esquemas de conectividad se resumen los resultados del análisis de interacción psicofisiológica de acuerdo a las regiones de interés: CPFdm d – Corteza prefrontal dorsomedial derecha (en rosa); COF i – Corteza orbitofrontal izquierda (en azul); Ins d – Insula derecha (en verde); y CCA i – Corteza del cíngulo anterior izquierda (en anaranjado). Regiones con las que conectan: Cer- Cerebelo; Tal- Tálamo; Put- Putamen; PF-Polo frontal; COF-corteza orbitofrontal; GFS-giro frontal superior; GFM-giro frontal medio; GFI-Giro frontal inferior; GpostC-Giro postcentral; OF-Operculum frontal; COC- Corteza del operculum central; CCP- Corteza del cíngulo posterior; PT- Polo temporal; GTM-Giro temporal medio; GTI-Giro temporal inferior; Cfus-Corteza fusiforme; GPH-Giro parahipocampal; CsuprM- Corteza supramarginal; LPS- Lóbulo parietal superior; Prec-Precuneus ; COL-Corteza occipital lateral; Fcalc- Fisura calcarina; Amig- Amígdala; I-izquierdo, D-derecho.



B) HOMBRES

Figura 16B. En estos esquemas de conectividad se resumen los resultados del análisis de interacción psicofisiológica de acuerdo a las regiones de interés: CPFdm d – Corteza prefrontal dorsomedial derecha (en rosa); COF i – Corteza orbitofrontal izquierda (en azul); Ins d – Insula derecha (en verde); y CCA i – Corteza del cíngulo anterior izquierda (en anaranjado). Regiones con las que conectan: Cer- Cerebelo; Tal- Tálamo; Put- Putamen; PF-Polo frontal; COF- corteza orbitofrontal; GFS-giro frontal superior; GFM-giro frontal medio; GFI-Giro frontal inferior; GpostC-Giro postcentral; OF-Operculum frontal; COC- Corteza del operculum central; CCP- Corteza del cíngulo posterior; PT- Polo temporal; GTM-Giro temporal medio; GTI-Giro temporal inferior; Cfus-Corteza fusiforme; GPH-Giro parahipocampal; CsuprM- Corteza supramarginal; LPS- Lóbulo parietal superior; Prec-Precuneus ; COL-Corteza occipital lateral; Fcalc- Fisura calcarina; Amig- Amígdala; I-izquierdo, D-derecho.

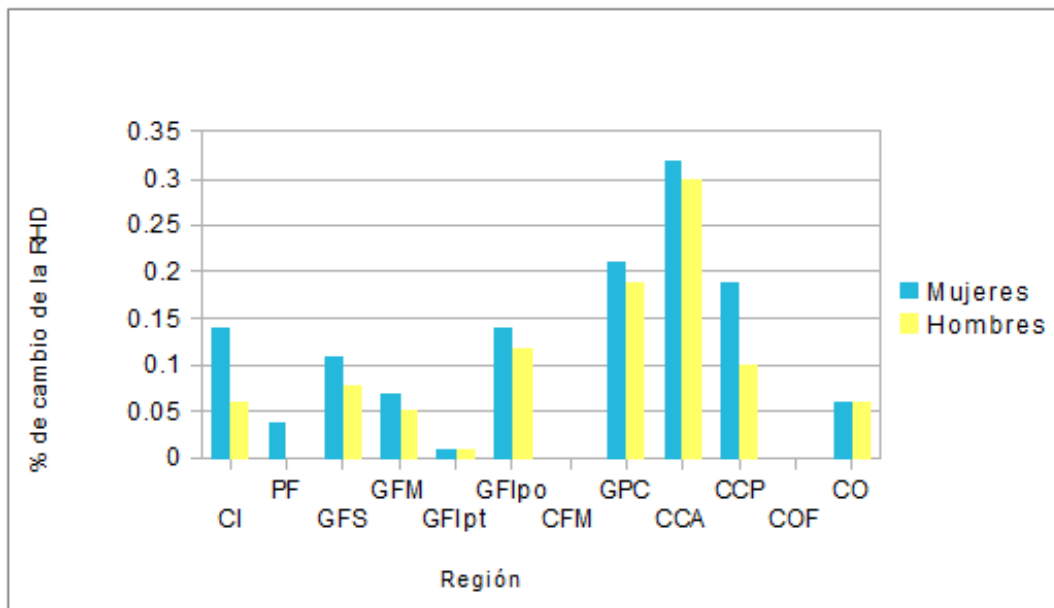
*Porcentaje de cambio de la respuesta hemodinámica.*

Al comparar estadísticamente los resultados del porcentaje de cambio de la respuesta hemodinámica para hombres y mujeres de acuerdo a cada región de interés, solamente se observaron diferencias significativas en la serie Imágenes inductoras de compasión vs Objetos neutros, para la corteza opercular (F=10.37; p=.003), el giro frontal inferior pars opercularis (F=4.32; p=.045) e ínsula (F=7.25; p=.01); siendo la activación mayor en mujeres que en hombres (Tabla 8 y Gráfica 1) .

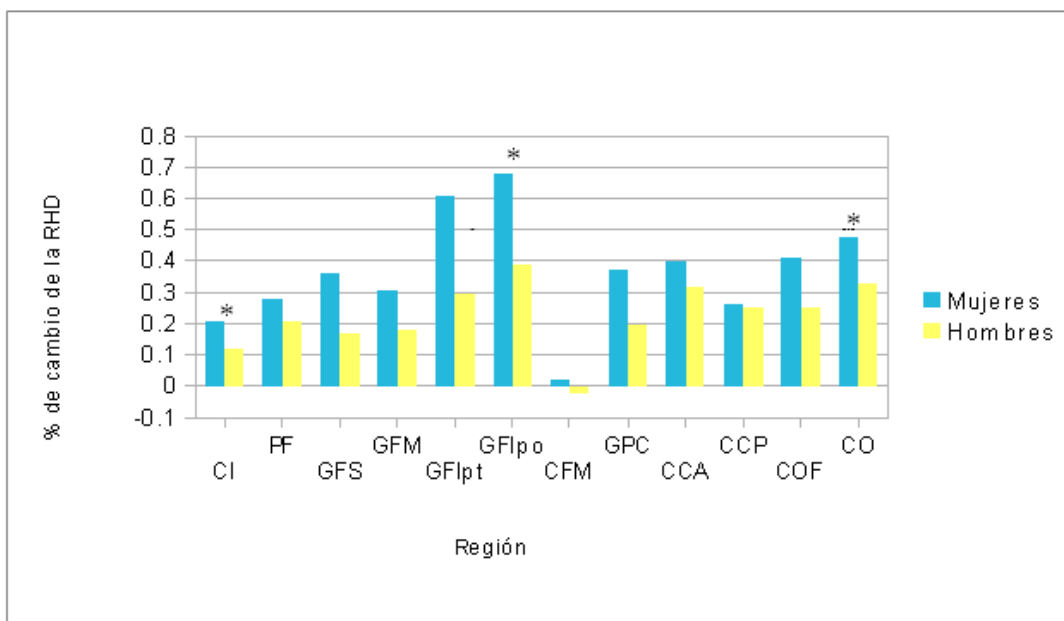
	CI	PF	GFS	GFM	GFI <sub>t</sub>	GFI <sub>o</sub>	CFM	PC	CCA	CCP	COF	OpF
CS Mujeres	.14	.04	.11	.07	.01	.14	.00	.21	.32	.19	.00	.06
CS Hombres	.06	.00	.08	.05	.01	.12	.00	.19	.30	.10	.00	.06
CS Promedio	.10	.00	.10	.06	.01	.13	0.00	.20	.31	.15	0.00	.07
CO Mujeres	<b>.21*</b>	.27	.36	.32	.61	<b>.68*</b>	.02	.37	.40	.26	.41	<b>.49*</b>
CO Hombres	<b>.13*</b>	.21	.18	.19	.30	<b>.39*</b>	-.02	.20	.32	.25	.25	<b>.32*</b>
CO Promedio	.17	.24	.27	.25	.45	.53	.00	.28	.36	.25	.33	.41
SO Mujeres	.07	.01	-.01	.02	.09	.11	-.09	-.06	-.04	-.05	.08	.08
SO Hombres	-.02	.06	.15	.14	.31	.25	.12	.14	.07	.04	.17	.18
SO Promedio	.02	.02	.07	.09	.19	.18	.01	.03	.01	-.01	.12	.13

Tabla 8. Se muestra el porcentaje de cambio de la respuesta hemodinámica en hombres y mujeres para cada serie: CS- Imágenes inductoras de compasión vs Imágenes sociales neutras; CO- Imágenes inductoras de compasión vs Objetos neutros; SO- Imágenes sociales neutras vs Objetos neutros. Estos cambios corresponden a las máscaras de doce regiones de interés extraídas por el atlas Harvard-Oxford. CI- Corteza Insular, GFS- Giro Frontal Superior, GFM-Giro Frontal Medio, GFI<sub>t</sub>-Giro Frontal Inferior temporalis, GFI<sub>o</sub>-Giro Frontal Inferior Opercularis, COF- Corteza del Operculum Frontal, GPC- Giro Paracingular, GC p- Giro Cingulafr posterior, GC a Giro Cingular anterior. Se muestran con asterisco los datos en los que se observaron diferencias significativas entre hombres y mujeres.

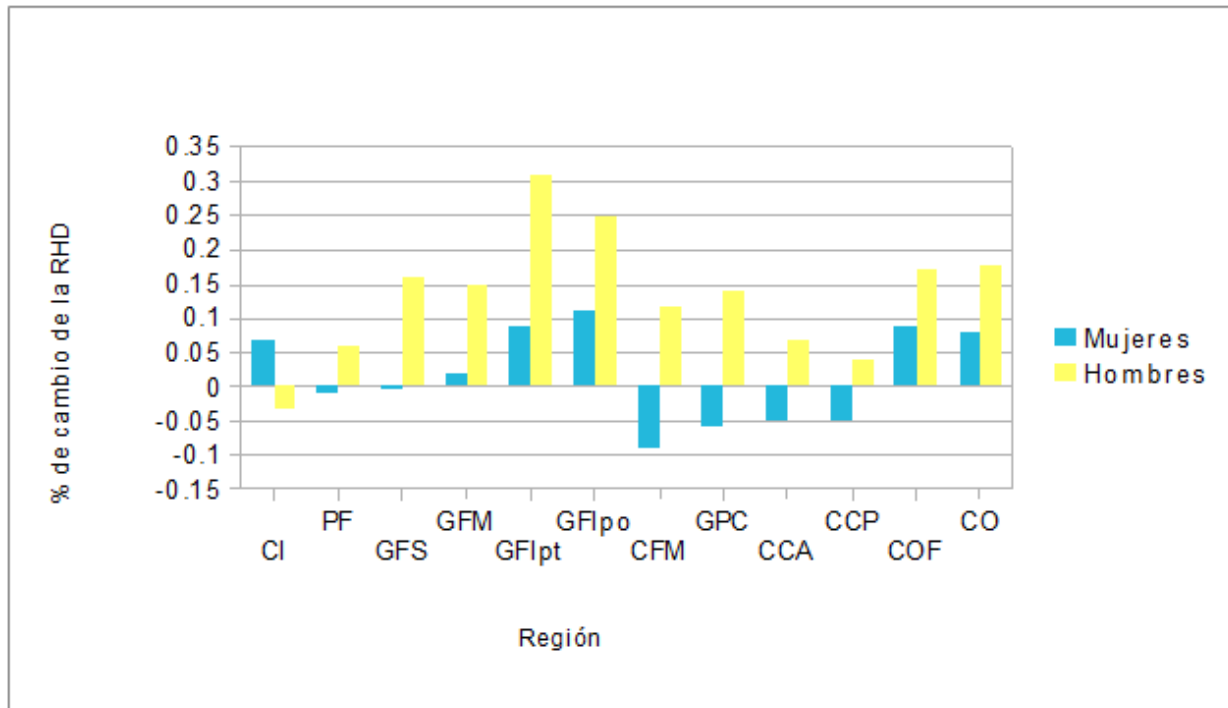
a) Imágenes inductoras de compasión vs Imágenes sociales neutras



b) Imágenes inductoras de compasión vs Objetos neutros



c) Imágenes sociales neutras vs Objetos neutros



Gráfica 1. Se muestran los porcentajes de cambio en la respuesta hemodinámica (RHD) en las tres series para hombres y mujeres de acuerdo a doce regiones de interés: CI- corteza insular; PF-Polo frontal; GFS-Giro frontal superior; GFM- giro frontal medio; GFipt, giro frontal inferior pars triangularis; GFipo- giro frontal inferior pars opercularis; CFM- corteza frontal media; GPC-giro paracingulado; CCA-corteza del cíngulo anterior; CCP-corteza del cíngulo posterior; COF-corteza orbitofrontal ; y CO- corteza opercular.

## 8. DISCUSIÓN

Respecto a la primer hipótesis, se observó que el cíngulo anterior sí mostró conexión con la ínsula y corteza prefrontal dorsomedial en hombres, no siendo así con la corteza orbitofrontal. Es decir, en hombres el cíngulo pudiera estar funcionando en efecto como una región de integración de información somatovisceral e inferencia de estados mentales (Fig. 17).

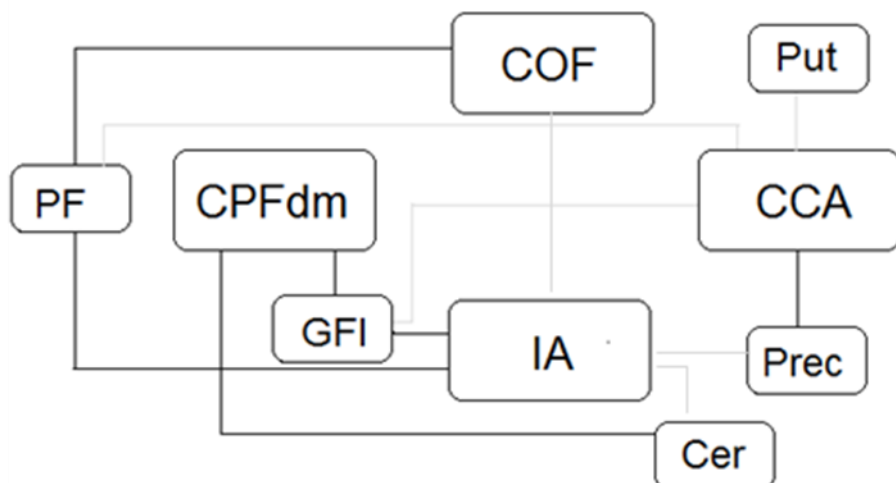
En las mujeres, ni el cíngulo anterior ni la corteza orbitofrontal mostraron conectividad con la corteza prefrontal dorsomedial ni con la ínsula anterior. Sin embargo, como en el caso de los hombres también, el cíngulo parecería estar integrando información de tipo cognoscitivo y afectivo, ligada a los procesos relacionados al polo frontal y al giro frontal inferior. Más adelante, se profundizará en esta relación.

Por otro lado, no queda claro que la corteza orbitofrontal integre información cognoscitiva y afectiva, o al menos esto pareció no ser el patrón común en el contexto de este estudio.

Finalmente, no se observó conectividad entre la corteza del cíngulo anterior y la corteza orbitofrontal, lo cual es interesante porque el cíngulo anterior, que funciona como una especie de monitor y que media procesos simultáneos no intervendría en el proceso de valoración personal-motivacional de estímulos y viceversa. Es posible que esta disociación podría derivar en dos procesos diferentes: por un lado la emisión explícita de un juicio (me produce o no compasión, lo ayudaría o no) y por el otro, la emisión de una valoración que modula la conducta y el afecto. Su independencia podría conducir a lo que en psicología se ha llamado *disonancia cognoscitiva* que se refiere a la contraposición existente entre dos procesos cognoscitivos, emocionales y/o conductuales (Festinger, 1957).



## MUJERES



## HOMBRES

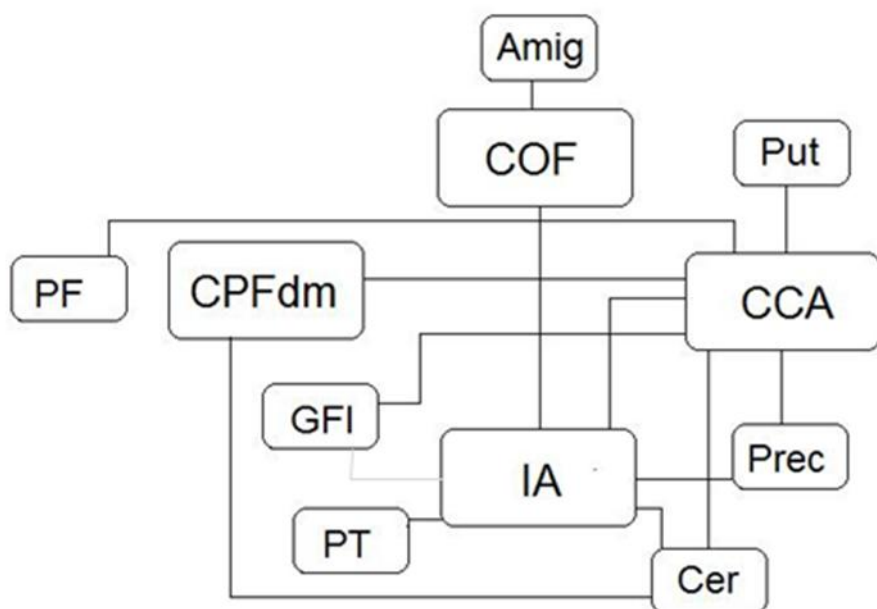


Figura 17 . Se muestran los patrones de conectividad entre regiones asociadas a los componentes cognoscitivo y afectivo de la respuesta compasiva. Tales patrones se derivaron del análisis de interacción psicofisiológica, para indagar la conectividad funcional durante la visualización de imágenes inductoras de compasión. Los cuadros grandes corresponden a las regiones de interés y los cuadros chicos a regiones con las que se observó conectividad y que se han reportado previamente en estudios de empatía o de emociones morales. COF- Corteza orbitofrontal; CPFdm- Corteza prefrontal dorsomedial; CCA- Corteza del cíngulo anterior; IA- Ínsula anterior; PF- Polo frontal; GFI- Giro frontal inferior; PT- Polo temporal; Amig-Amígdala; Cer-Cerebelo; Put-Putamen; Prec –Precuneus.

Los resultados mostraron que, a pesar de que existe un gran empalme entre las áreas reclutadas durante la respuesta compasiva en hombres y mujeres (ver Anexo C), ambos integran la información de manera diferente.

A continuación se profundizará en la discusión del patrón de conectividad de cada región de interés.

### *Corteza prefrontal dorsomedial*

En las mujeres, esta región mantuvo conexiones con el giro frontal inferior y con el operculum central, regiones que como se mencionó en los antecedentes, están asociadas a un sistema de neuronas espejo. Asimismo, mostró conexiones con el giro parahipocampal, estructura relacionada con procesos de contextualización social y reconocimiento de escenas, y con el cíngulo posterior, asociado a procesos introspectivos referentes al yo.

Dado que la corteza prefrontal dorsomedial está asociada a procesos de inferencia de estados mentales, los hallazgos observados indicarían que las mujeres hacen uso de más recursos cognoscitivos para entender la perspectiva de otra persona y posiblemente este proceso se vería influido directamente por sistemas de mímica facial, a juzgar por la relación con el sistema de neuronas espejo.

También se observó conectividad desde la corteza prefrontal dorsomedial hacia el tálamo en las mujeres pero no en los hombres. En el antecedente de este estudio, Mercadillo et al. (2011) encontraron que las mujeres mostraban mayor activación en el tálamo durante la respuesta compasiva; otros estudios sobre percepción emocional han llegado al mismo hallazgo (Whittle et al., 2011). Se sabe que el tálamo sirve como relevo entre proyecciones subcorticales y límbicas, tales como la formación reticular, la amígdala y la sustancia nigra, hacia la corteza prefrontal (Fuster, 2008). De este modo, en las mujeres la interpretación de intenciones de otros podría verse mediada por diferentes procesos como el nivel de alertamiento ante la percepción de un estímulo considerado afectiva y socialmente relevante.

Por otro lado, la conexión funcional con el cerebelo en hombres y mujeres puede hablar de un loop de continua retroalimentación entre el cerebelo y los hemisferios cerebrales. Demirtas-Tatlidede y Schmahmann (2013) remarcan las conexiones recíprocas entre cerebelo y áreas de procesamiento de alto orden, entre ellas la corteza prefrontal dorsomedial y el cíngulo, observadas en primates no humanos y remarcan la importancia que puede tener el cerebelo en procesos morales, pues su lesión ha demostrado afectar procesos de teoría de la mente, de empatía y cognición social (Gerschovich et al., 2011). Si bien el cerebelo no ha merecido suficiente atención en los estudios de cognición social, es posible que su relevancia en estos procesos sea como mediador en procesos de orden general y de manera indirecta, pues se ha visto que el cerebelo afecta un amplio rango de tareas cognoscitivas y emocionales.

Es posible que en esta investigación su papel haya sido el de mediar respuestas emocionales: en un estudio que usó también imágenes del sistema IAPS y cuyo objetivo era caracterizar regiones del cerebelo conforme a emociones básicas, se observó efectivamente que algunas regiones cerebelares respondían específicamente ante ciertas emociones, mientras que otras mostraban cierto sobrelape; adicionalmente, también observaron una activación simultánea en la corteza prefrontal dorsomedial (Baumann y Mattingley, 2012). Parece ser que esta conexión entre corteza prefrontal dorsomedial y cerebelo, habla de una emisión de juicios rápidos influida por las emociones del individuo generadas a partir de la percepción de emociones de otro. Esta mediación puede darse en parte a través de la percepción de estados somáticos concorde a la teoría de Damasio (2003), que propone que nuestros pensamientos son derivados de nuestros sentimientos y estos a su vez de la percepción inconsciente de nuestros estados somáticos. Adicionalmente, el cerebelo podría estar mediando a través de su relación con procesos como la dirección de la mirada, la propioceptividad de músculos faciales y su gesticulación; dicha relación se mantiene a través de las aferentes recibidas del sistema visual y vestibular y por sus eferentes hacia la corteza motora y premotora, lo cual interviene en la ideación y ejecución del movimiento (Purves et al., 2008).

En el estudio de Mercadillo et al. (2011) se observó que mientras ciertas regiones del cerebelo estaban más activas en mujeres, otras regiones lo eran más en los hombres; en el presente estudio

también se observó que las regiones que mostraban conectividad con la corteza prefrontal dorsomedial tampoco eran las mismas, lo que evidencia aún más una disparidad de los procesos aunque no esclarece el rol de esta estructura en procesos compasivos.

Estudios futuros de conectividad funcional tomando al cerebelo como una región de interés podrían ayudar a esclarecer esta incógnita.

### *Corteza orbitofrontal*

Esta región mostró conectividad con la amígdala en los hombres. Esta conexión resulta relevante en un contexto de darle una valoración negativa a un estímulo y procesar esta información para la autoregulación y toma de decisiones. El haz que une ambas estructuras, el fascículo uncinado, ha sido objeto de estudio en varios trastornos emocionales tales como ansiedad, depresión y trastorno antisocial de la personalidad, y se sugiere que juega un rol fundamental en la modulación del comportamiento y del afecto al integrar el valor personal de los estímulos en un contexto motivacional de alto orden (Von der Heide et al., 2013).

Asimismo, en los hombres la corteza orbitofrontal mostró conectividad con el putamen, complejo que puede hablar de un control sobre una tendencia a una respuesta motora. Por otro lado, el complejo putamen-corteza orbitofrontal guarda cierta relación con comportamientos dirigidos a una meta y su irrupción conduce conductas inflexibles y estereotipadas (Groman et al., 2013) por lo que su conectividad en el contexto de este estudio también puede referirse al proceso de una constante actualización de información con una consecuente mudanza en la toma de decisiones.

Por otro lado, las mujeres solamente mostraron conectividad desde la corteza orbitofrontal con el polo frontal. Una interpretación tentativa es que las respuestas autogeneradas y anticipación de consecuencias –procesos asociados al polo frontal– podrían servir en ellas para la asignación de un valor al estímulo en curso durante la respuesta y la autoregulación durante la respuesta compasiva. No obstante, si la conectividad se diera en el sentido inverso, podría inferirse que la corteza orbitofrontal funciona como un freno para la generación de un tren de pensamientos.

En conjunto, puede inferirse que los hombres procesan en mayor grado información dirigida a regular sus emociones durante la respuesta compasiva - estas emociones pueden ser enojo, ansiedad o tristeza, pues son las que pudieron ser elicitadas durante la presentación de las imágenes y que están asociadas a la amígdala – y posiblemente también a regular una tendencia a la acción elicitada por dicha emoción. Una interpretación alterna, bajo la visión de que la corteza orbitofrontal no es en sí mismo un freno, sino que procesa información de la valoración de un estímulo para tomar una decisión, es que durante este proceso en los hombres cobra mayor peso la reacción de miedo o enojo que les evoque cierto estímulo, mientras que en las mujeres pesarían más las posibles implicaciones de la situación, al menos en el contexto de estímulos inductores de la compasión.

#### *Corteza insular anterior*

En las mujeres y en el grupo de mujeres y hombres, se observó conectividad funcional entre la región insular anterior y el giro frontal inferior, análogamente a lo observado por Jabby y Keysers (2008) quienes observaron esta misma conectividad cuando contrastaron la percepción de expresiones de asco con expresiones neutras. Estos autores asocian el giro frontal inferior con un sistema de neuronas espejo que desata componentes motores de imitación ante la observación de expresiones faciales afectivas y neutras, y a la región de la ínsula anterior un proceso de compartir la emoción percibida en la expresión de otro. De esta relación se desprende que el componente automático de imitación juega un papel en compartir propiamente la emoción de otro.

En las mujeres fue observada la conectividad funcional de la ínsula con el polo frontal; esta última estructura se asocia con respuestas autogeneradas y el mantenimiento de metas, por lo que dicha conectividad puede referir a que cuando existe una percepción de estados somatoviscerales sobresalientes existe una mayor propensión a anticipar consecuencias y/o generar posibles resultados y/o acciones.

En el caso de los hombres y en el promedio de hombres y mujeres juntos, la ínsula se distinguió por mantener una profusa conectividad con áreas relacionadas al procesamiento visual (fisura

calcarina, supracalcarina, corteza fusiforme, parahipocampal y corteza occipital lateral) lo que sugiere una influencia fuerte entre la percepción visual y la percepción somatovisceral. La conectividad con el cerebelo en caso de ser ascendente puede relacionarse con la mediación emocional sugerida anteriormente, y en caso de tratarse de una proyección descendente podría indicar una propensión a la acción derivada de la percepción de estados somatoviscerales.

También se resalta la conectividad observada con la corteza orbitofrontal bilateral, estrechamente ligada a la asignación de un valor a los estímulos lo cual es de extrema importancia para la toma de decisiones, autocontrol y adaptación social. Esto es, durante la respuesta compasiva la percepción somatosensorial influye en gran medida la valoración que se hace del estímulo. Esto concuerda con la teoría de estados somáticos ya descrita (Damasio, 2003). Sin embargo, esta conexión entre insula y corteza orbitofrontal no siempre es observada (como fue el caso de las mujeres en el presente estudio) ante lo cual, Damasio propone que es porque la transmisión de estados somáticos puede darse desde un nivel previo, como el tallo cerebral, y que la ínsula hace un procesamiento más fino y con mayor información intracortical de dichos estados.

Aunque el polo temporal no fue una de nuestras áreas de interés, su relevancia en procesos de cognición social hace llamar la atención en relación con la conectividad que mostró con la ínsula en el caso de los hombres. Se postula que el polo temporal procesa la semántica social (Moll et al., 2005) y que integra información perceptual de alto orden con respuestas viscerales emocionales (Olson et al., 2007). Esta conectividad podría explicar el hecho de que la respuesta somatovisceral de los hombres ante el dolor ajeno esté influida por la percepción social que tienen del otro individuo (Singer et al., 2006).

Estos hallazgos parecen indicar que la respuesta somatovisceral es más influida por el sistema de neuronas espejo en mujeres e influye respuestas autogeneradas, o bien, que la anticipación de consecuencias genera una mayor respuesta somatovisceral. En el caso de los hombres, la respuesta somatovisceral es más influida por información visual en contexto (por ejemplo, el tipo de escena) y mantiene una interacción con componentes de regulación emocional.

### *Corteza del cíngulo anterior*

En el caso de los hombres, observamos que el cíngulo anterior mostró una conectividad hacia la ínsula y hacia la corteza prefrontal dorsomedial, es decir, con estructuras relacionadas al componente afectivo y cognoscitivo que integran la compasión. Aunque el análisis de conectividad psicofisiológica no arroja direccionalidad de las conexiones, los resultados estarían en concordancia con la propuesta de que el cíngulo anterior funciona como un integrador o mediador de los componentes cognoscitivo y afectivo para emitir un juicio moral. Al respecto, cabe señalar que la semilla de este análisis fue localizada en la porción dorsal del cíngulo anterior, la cual está asociada con procesos de monitoreo de errores y toma de decisiones (Botvinick et al. 2004), en contraste con las porciones subgenuales o pregenuales que se asocian con procesos de tipo más afectivo (Yu et al. 2011). Adicionalmente, se observó una conectividad profusa con diversas estructuras relacionadas con anticipación de consecuencias (polo frontal) y con cognición social (polo temporal). Allman et al. (2001) proponen que el cíngulo anterior en primates, a juzgar por su arquitectura, funciona como coordinador de diferentes procesos y consideran que forma parte del neocortex, más que ser una estructura primitiva como se le había considerado. De este modo, los hombres tenderían a realizar una mayor integración no sólo de los procesos afectivos y cognoscitivos considerados en un inicio, sino también de procesos relacionados a la contextualización de la escena con el propósito de emitir un juicio moral. Esta integración concuerda con el modelo EFEC propuesto por Moll et al. (2005) descrito en el apartado de antecedentes de este estudio, aunque en este modelo no se especifica el rol del cíngulo como integrador.

En el caso de las mujeres, esta estructura solamente mostró conectividad funcional con el precuneus. Esta estructura se ha visto relacionada con procesos tan diversos como la autoconciencia, imaginación y memoria episódica; Bullmore y Sporns (2009) han observado que juega un papel como nodo central en la conectividad entre áreas frontales y parietales: es posible que en la mujer el conflicto durante un juicio moral esté relacionado a procesos de tipo más introspectivo, aunque dicha afirmación requiere mayor evidencia para ser confirmada. Asimismo, si el precuneus juega un rol como nodo central, un análisis posterior de conectividad funcional de

esta área sería útil para dilucidar si esta área está integrando procesos de diferente índole, de manera que el procesamiento fuera en cascada.

El análisis de la conectividad de los participantes de ambos sexos para el cíngulo anterior parece indicar que hombres y mujeres consideran de manera importante respuestas somatoviscerales y empáticas (ínsula, operculum y giro frontal inferior) como anticipación de consecuencias o implicaciones de una situación (polo frontal) en la emisión de sus juicios.

El hecho de que este análisis y el de la ínsula anterior arrojaran resultados significativos para el grupo de hombres y mujeres juntos, indica que existen semejanzas entre hombres y mujeres al procesar información somatovisceral y al emitir un juicio, y que en el análisis por grupo de mujeres no se reflejaron debida tal vez a una mayor variabilidad en la conectividad funcional en ellas. Tal variabilidad puede ser ocasionada por las fluctuaciones en niveles hormonales a lo largo del ciclo menstrual, lo cual no fue controlado en este estudio, o bien, a una mayor efectividad en la conectividad anatómica de las mujeres (Gong et al., 2009), lo que al implicar más vías y por tanto una mayor diversificación en la conectividad, puede conducir a que sea más difícil tipificar la respuesta en un patrón.

En resumen, los resultados mostraron que hombres y mujeres muestran diferencias en el procesamiento e integración de la información somatovisceral del componente afectivo, de la inferencia de estados mentales del componente cognoscitivo, de autoregulación y toma de decisiones. No obstante, a pesar de algunas diferencias, parece haber procesos comunes en el procesamiento de información somatovisceral y en la mediación del conflicto al considerar simultáneamente elementos somatoviscerales y cognoscitivos.

De modo general, el hecho de que la conectividad de la mujer durante la respuesta compasiva esté más ligada a procesos introspectivos como toma de la perspectiva del otro, respuestas autogeneradas y al sistema de neuronas espejo, y que en los hombres se integren tales respuestas con otros elementos como detalles de la escena y contextualización social podrían explicar las diferencias encontradas en otros estudios. Por ejemplo, en el estudio de Singer et al. (2006) la



reducción de la actividad cerebral en la respuesta al dolor del otro se vio mediada por la percepción que los hombres tenían del otro individuo (si este había sido justo o no), mediación no observada en las mujeres. En otros campos de estudio, como la psicología social, se ha observado que la donación de los hombres a cierta fundación de caridad es más dependiente de la comparación social -consideran más el comportamiento promedio del grupo- (Meier, 2005), y que el razonamiento moral de los hombres está más orientado a nociones del deber ser en términos de derechos y obligaciones, y el razonamiento de las mujeres se encuentra más orientado a las consecuencias o efectos sobre otros (Björklund, 2003). Estas diferencias, aunque derivadas de contextos diferentes, desembocan en procesos similares y que concuerdan con los hallazgos del presente estudio.

#### *Porcentaje de cambio de la respuesta hemodinámica.*

Las regiones en las que se observaron diferencias significativas respecto al porcentaje de cambio de la respuesta hemodinámica fueron la corteza opercular, la corteza insular y el giro frontal inferior pars opercularis. Estas regiones son anatómicamente próximas entre sí y sus funciones también guardan cierta relación, pues la ínsula involucra el monitoreo y percepción de estados somáticos (Mutschler et al. 2009), el operculum se asocia al movimiento voluntario de músculos craneo-faciales (Weller, 1993) y la porción opercular del giro frontal inferior con la observación e imitación de una acción (Molnar et al., 2005). En conjunto, se puede vincular la función de estas estructuras con el contagio emocional, que forma parte del componente afectivo de la compasión.

A pesar de que el operculum central ha sido poco estudiado dentro del campo de procesos cognoscitivos, el hecho de que su función esté ligada a movimientos voluntarios de músculos craneofaciales, y que a la vez no esté asociado con apraxias, sugiere que las mujeres tienen mayor propensión a emitir señales visuales y vocales como medio de comunicación en situaciones emocionales.

Por otro lado, el giro frontal inferior pars opercularis, ha sido ampliamente estudiado en su

porción izquierda, mayormente conocida como área de Broca; se ha inferido la existencia de un sistema de neuronas espejo en esta región, lo que puede estar relacionado a la adquisición del lenguaje, pero no de modo exclusivo, pues su sensibilidad a la observación e imitación de una acción no está lateralizado (Aziz-Zadeh et al. 2006). De tal modo, esta región puede jugar un papel importante en el entendimiento de las acciones de otros en un sentido cercano a “experimentarlo en carne propia”. De hecho, un estudio encontró una relación entre el grosor cortical del giro frontal inferior y el constructo de Preocupación Empática, el cual mide sentimientos de preocupación ante el infortunio de otros (Banissy et al., 2012).

Por otra parte, como se revisó a lo largo de los antecedentes, la ínsula está fuertemente asociada con la experimentación del dolor propio y ajeno, así como con la percepción de estados somatoviscerales.

La mayor activación en estas áreas parece indicar que si bien ambos sexos muestran este rasgo (contagio emocional), este parece ser más pronunciado en las mujeres. El hecho de que la diferencia entre hombres y mujeres sólo haya sido significativa en el contraste de Imágenes inductoras de compasión *vs* Objetos neutros puede indicar que tal disparidad no es específica de respuestas compasivas. Al respecto, un metanálisis recogió evidencia de que las mujeres, en efecto, muestran mayor reactividad emocional en diferentes contextos (Whittle et al, 2011).

El porqué hombres y mujeres muestran una conectividad funcional y un porcentaje de cambio de la respuesta hemodinámica diferente continúa siendo una pregunta sin responder.

La diferencia entre la conectividad funcional entre hombres y mujeres puede explicarse parcialmente por que en sí misma la conectividad anatómica es diferente entre ambos, habiendo una mayor eficiencia local en mujeres (Gong et al., 2009), lo que podría explicar una mayor variabilidad en su forma de procesar la información y con esto la dificultad para establecer un patrón; no obstante, dicha explicación solo evidencia que en sí mismas las vías están conectadas de modo diferente por lo que se procesa la información de modo distinto.

Es importante mencionar que el hallazgo de correlatos neurales no implica que dichos

mecanismos sean hereditarios, puesto que el ambiente también genera cambios en la conectividad (anatómica y funcional) y en los patrones de actividad cerebral.

No obstante, existen elementos para pensar que algunos mecanismos son al menos en parte derivados de una adaptación evolutiva. El hecho de que el sexo femenino esté ligado a la maternidad y en mamíferos al cuidado de la cría, puede explicar la mayor reactividad emocional hacia las emociones ajenas. Al respecto, Bartal et al. (2011) encontraron que si bien ratas machos y hembras eran alterados por el estrés de un compañero atrapado en una jaula y ejecutaban conductas para liberarlo, incluso renunciando a una recompensa individual, el tiempo que tomaba a las hembras para ayudar a sus compañeros era menor. Asimismo, a lo largo de diferentes épocas y diferentes culturas se observa que son más las mujeres dedicadas al cuidado de personas en estado vulnerable (vgr. enfermos, ancianos, gente con alguna discapacidad). A pesar de estos argumentos, no se excluye que la respuesta somatovisceral (y también otros elementos) de la compasión sea moldeada, reforzada o incluso pueda ser revertida por el ambiente en hombres y mujeres.

Otro factor no considerado en este estudio y que convendría tomar en cuenta en futuras investigaciones es la influencia hormonal en estas respuestas, pues es ampliamente sabido que estas juegan un rol importante en procesos afectivos y cognoscitivos.

Este trabajo estuvo dirigido a estudiar la respuesta somatovisceral, cognoscitiva y su posible integración, en la respuesta compasiva. Futuros estudios podrían estar encaminados a indagar cuáles son los componentes que tienen un mayor peso en la emisión de un juicio declarativo (se propone que la actividad del cíngulo anterior sería un precursor de esta respuesta) y qué tanto este difiere de un juicio basado en la valoración personal de los estímulos (más ligado a la corteza orbitofrontal), así como investigar cuál de los dos guardaría una mayor relación con una respuesta conductual en situaciones de la vida cotidiana.

Otra variable que no se ha controlado de modo puntual en las investigaciones revisadas para el presente estudio pero que podría considerarse es el nivel socioeconómico, pues la exposición a diferentes ambientes y vivencias podría surtir efecto en la manera en que se experimenta la

respuesta compasiva, lo que podría reflejarse en el reclutamiento e integración de los componentes afectivo y cognoscitivo.

## **9. CONCLUSIONES**

Los resultados encontrados apoyan la propuesta de que la corteza del cíngulo anterior en su porción dorsal integra información de los componentes cognoscitivo y afectivo durante la emisión de un juicio moral. En el caso de los hombres, esta región mantiene conexiones funcionales con áreas asociadas a la inferencia de estados mentales de otro (CPFdm) e información somatovisceral (IA) durante la respuesta compasiva. En mujeres y en hombres se observa una vinculación a regiones asociadas al contagio emocional (giro frontal inferior) y a la anticipación de consecuencias o implicaciones (polo frontal).

Por el contrario, no se encontró evidencia de que la corteza orbitofrontal integre información de los componentes afectivo y cognoscitivo en ninguno de los grupos (promedio general, de hombres y de mujeres).

Hombres y mujeres parecen procesar de manera diferente información ligada a la inferencia de estados mentales y de autoregulación, habiendo un patrón de conectividad funcional específica para cada grupo, mientras que no hubo hallazgos significativos cuando los resultados de ambos sexos se promediaron en un grupo.

Con relación al procesamiento de información somatovisceral y de toma de decisiones, parece haber mayor similitud entre hombres y mujeres, ya que en este caso sí se observó un patrón de conectividad funcional de la ínsula y del cíngulo anterior para el grupo de hombres y mujeres juntos. No obstante, también existen diferencias relacionadas a los procesos relacionados, debido a que se observan patrones diferentes cuando se promediaron hombres y mujeres por separado.

En conjunto, estas diferencias en el procesamiento de información de tipo cognoscitivo y afectivo entre hombres y mujeres, pueden guardar relación con diferencias conductuales observadas en estudios sobre juicios morales y conducta prosocial en los que se observa que la conducta masculina se ve más influenciada por el contexto social.

La respuesta hemodinámica de las mujeres presentó un porcentaje de cambio significativamente mayor que los hombres en áreas ligadas al contagio emocional durante la respuesta compasiva. Si bien, tanto hombres como mujeres presentan el componente afectivo en la respuesta compasiva, revelado por el incremento del porcentaje de cambio de la ínsula, el giro frontal inferior y el operculum, los resultados indican que este efecto es más pronunciado en las mujeres.

Estudios futuros podrán profundizar en la conectividad de otras estructuras que parecen relevantes en la respuesta compasiva y han sido poco exploradas, tales como el precuneus, el cerebelo y el polo frontal. Asimismo, se podría indagar si la variación hormonal en las mujeres a lo largo de su ciclo menstrual tiene alguna influencia sobre su respuesta compasiva.

## 10. REFERENCIAS

Allman JM, Atiyahakeem J. 2001. The anterior cingulate cortex: The evolution of an interface between emotion and cognition. *Ann N Y Acad Sci.* 935, 107-17.

Aziz-Zadeh L, Koski L, Zaidel E, Mazziotta J, Iacoboni M. 2006. Lateralization of the human mirror neuron system. *J Neurosci.* 26, 2964–2970.

Banissy MJ, Kanai R, Walsh V, Rees G. 2012. Inter-individual differences in empathy are reflected in human brain structure. *Neuroimage.* 62, 2034-2039.

Bartal BA, Decety J, Mason P. 2011. Empathy and pro-social behavior in rats. *Science.* 334, 1427-1430.

Baumann O, Mattingley JB. 2012. Functional topography of primary emotion processing in the human cerebellum. *NeuroImage.* 61, 805–811.

Bechara A., Damasio H., Damasio AR. 2000. Emotion, decision making and the orbitofrontal cortex. *Cereb Cortex.* 10, 295-307.

Björklund, F. 2003. Differences in the justification of choices in moral dilemmas: Effects of gender, time pressure and dilemma seriousness. *Scand J of Psychol.* 44, 459–466.

Botvinick MM, Cohen JD, Carter CS. 2004. Conflict monitoring and anterior cingulate cortex: an update. *Trends Cogn Sci.* 8 (12) 539–546.

Bullmore E, Sporns O. 2009. Complex brain networks: graph theoretical analysis of structural and functional systems. *Nature Reviews Neuroscience.* 10, 186-198.

Carpenter M. 1994. *Neuroanatomía.* 4a edición. Argentina: Editorial Médica Panamericana. 415-419.

Cerezo FM. 2009. Bullying: análisis de la situación en las aulas españolas. *Int J Psychol Psycholog Ther.* 9, 367-378.

Church RM. 1959. Emotional reactions of rats to the pain of others. *J Comp Physiol Psych.* 52, 132–134.

Cloutman LL, Binney RJ, Drakesmith M, Parker GJM, Lambon RMA. 2012. The variation of function across the human insula mirrors its patterns of structural connectivity: Evidence from in vivo probabilistic tractography. *NeuroImage.* 59 (4), 3514-3521.

Damasio A. 2003. *Looking for Spinoza: Joy, Sorrow, and the Feeling Brain*, New York, New York: Harcourt. pp. 89-115.

Desikan RS, Segonne F, Fischl B, Quinn BT, Dickerson BC, Blacker D, Buckner RL, Dale AM, Maguire RP, Hyman BT, Albert MS, Killiany RJ. 2006. An automated labeling system for subdividing the human cerebral cortex on MRI scans into gyral based regions of interest. *Neuroimage.* 31(3), 968-980.

De Waal F. 2011. Frans De Waal: Moral Behavior in Animals. TED Talks. En: [http://www.ted.com/talks/frans\\_de\\_waal\\_do\\_animals\\_have\\_morals.html](http://www.ted.com/talks/frans_de_waal_do_animals_have_morals.html)

Decety J, Jackson PL. 2004. The functional architecture of human empathy. *Behav Cogn Neurosci Rev.* 3, 71–100.

Decety J, Svetlova M. 2012. Putting together phylogenetic and ontogenetic perspectives on empathy. *Dev Cogn Neurosci.* 2, 1-24.

Decety J, Echols SC, Correll J. 2009. The blame game: the effect of responsibility and social stigma on empathy for pain. *J Cognitive Neurosci.* 22, 985–997.

Decety J, Michalska K, Akitsuki Y, Lahey B. 2009. Atypical empathic responses in adolescents

with aggressive conduct disorder: a functional MRI investigation. *Biol Psychol.* 80 (2): 203.

Demirtas-Tatlidede y Schmahmann. 2013. Morality: incomplete without the cerebellum? *Brain.* 3. Cartas editoriales.

Diamond A. 2002. Normal development of prefrontal cortex from birth to young adulthood: Cognitive functions, anatomy, and biochemistry. En: D.T. Stuss, R.T. Knight Eds. *Principles of frontal lobe function.* Londres, Inglaterra: Oxford University Press. pp. 466-503.

Domes G, Heinrichs MA, Berger C, Herpertz SC. 2007. Oxytocin improves "mind-reading" in humans. *Biol Psychiat.* 61, 731-733.

Fan Y, Duncan NW, Greck M, Northoff G. 2011. Is there a core neural network in empathy? An fMRI based quantitative meta-analysis. *Neurosci Biobehav R.* 35, 903–911.

Festinger, L. 1957. *A theory of cognitive dissonance.* Stanford, CA. Stanford University Press. pp. 1-18

Feshbach ND. 1975. Empathy in children: some theoretical and empirical considerations. *Couns Psychol.* 5, 25–30.

Frazier JA, Chiu S, Breeze JL, Makris N, Lange N, Kennedy DN, Herbert MR, Bent EK, Koneru VK, Dieterich ME, Hodge SM, Rauch SL, Grant PE, Cohen BM, Seidman LJ, Caviness VS, Biederman J. 2005. Structural brain magnetic resonance imaging of limbic and thalamic volumes in pediatric bipolar disorder. *Am J Psychiatry.* 162 (7), 1256-1265.

Fuster JM. 2001. The Prefrontal Cortex—An Update: Time Is of the Essence. *Neuron.* 30, 319–333.

Fuster, JM. 2002. Frontal lobe and cognitive development. *J Neurocitol.* 31, 373-385.



Fuster, JM. 2008. *The Prefrontal Cortex*. Fourth Ed. Academic Press. 32, 40.

Gazzaniga M. 2009. *Human: The Science Behind What Makes Us Unique*. Harper Perennial Press. pp. 172-174.

Gerschovich R, Cerquetti D, Tenca E, Leiguarda R. 2011. The impact of bilateral cerebellar damage on theory of mind, empathy and decision making. *Neurocase*.17 (3), 270-275.

Goldberg E. 2001. *The Executive Brain, Frontal Lobes and the Civilized Mind*. New York: Oxford University Press. pp. 27-37.

Goldstein JM, Seidman LJ, Makris N, Ahern T, O'Brien LM, Caviness VS Jr, Kennedy DN, Faraone SV, Tsuang MT. 2007. Hypothalamic abnormalities in schizophrenia: sex effects and genetic vulnerability. *Biol Psychiatry*. 61 (8), 935-945.

Gong G, Rosa-Neto P, Carbonell F, Chen ZJ, He Y, Evans AC. 2009. Age- and Gender-Related Differences in the Cortical Anatomical Network. *J of Neurosci*. 29(50), 15684–15693.

Groman SM, James, AS, Seu E, Crawford MA, Harpster SN, Jentsch JD. 2013. Monoamine orbitofrontal cortex and putamen interact to predict reversal learning performance. *Biol Psychiatry*. 73 (8), 756-762.

Haidt J. 2003. The moral emotions. En: R.J. Davidson, K. Scherer, H. Goldsmith (Eds.) *Handbook of affective sciences*. Oxford: Oxford University Press. pp. 852-870.

Hein G, Silani G, Preuschhoff K, Batson CD, Singer T. 2010. Neural responses to ingroup and outgroup members' suffering predict individual differences in costly helping. *Neuron*. 68, 149–160.

Haney C, Banks WC, Zimbardo, PG. 1973. Interpersonal dynamics in a simulated prison. *Int J Criminol Penol*. 1, 69–97.

Hoshi E, Tanji J. 2004. Area-Selective Neuronal Activity in the Dorsolateral Prefrontal Cortex for Information Retrieval and Action Planning . *J Neuropsychiol.* 91 (6), 2707-2722.

Huettel SA, Song, AW, Mc Carthy G. 2009. *Functional Magnetic Resonance Imaging*. Second Edition. Sinauer Associates, Inc. Publishers, USA. pp. 59-209.

Jabbi M, Keysers C. 2008. Inferior Frontal Gyrus Activity Triggers Anterior Insula Response to Emotional Facial Expressions. *Emotion.* 8 (6), 775-780.

Jenkinson M, Bannister PB, Brady M, Smith S. 2002. Improved optimisation for the robust and accurate linear registration and motion correction of brain images. *NeuroImage.* 17 (2) 825-841.

Kerr A, Zelazo PD. 2004. Development of “Hot” executive function: The children's gambling task. *Brain Cognition.* 55, 148-157.

Kim JW, Kim SE, Kim JJ, Jeong B, Park CH, Son AR, Song JE, Wan KI. 2009. Compassionate attitude towards others' suffering activates the mesolimbic neural system . *Neuropsychologia.* 47, 2073–2081.

Konrath S, O'Brien E, Hsing C. 2011. Changes in dispositional empathy in American college students over time: A meta-analysis. *Pers Soc Psychol Rev.* 15, 180-198.

Kosfeld M, Heinrichs M, Zak PJ, Fischbacher U, Fehr E. 2005. Oxytocin increases trust in humans. *Nature.* 435, 673-676.

Kramer UM, Mohammadi B, Donamayor N, Samii A, Munte TF. 2010. Emotional and cognitive aspects of empathy and their relation to social cognition: an fMRI study. *Brain Res.* 1311, 110–20.

Lamm C, Batson CD, Decety J. 2007. The neural substrate of human empathy: effects of

perspective-taking and cognitive appraisal. *J Cognitive Neurosci.* 19, 42-58.

Lamm C, Meltzoff, AN, Decety J. 2010. How do we empathize with someone who is not like us? A functional magnetic resonance imaging study. *J Cognitive Neurosci.* 22, 362-376.

Leventhal, JM, Gaither, JR. 2012. Incidence of Serious Injuries Due to Physical Abuse in the United States: 1997 to 2009. *Pediatrics*, 130.

Loredo–Abdalá A, Trejo–Hernández J, Jordán–González NT, López–Navarrete G, Muñoz–García A, Perea–Martínez A, Ridaura–Sainz C. 2006. Maltrato infantil y síndrome de muerte súbita del lactante: estrategias para el diagnóstico diferencial. *Bol. Med. Hosp. Infant. Mex.* 63 (4), 269-275.

Lutz A, Brefczynski-Lewis J, Johnstone T, Davidson RJ. 2008. Regulation of the Neural Circuitry of Emotion by Compassion Meditation: Effects of Meditative Expertise. *PLoS One.* 3 (3), 1038-1046.

Mac Lean PD. 1985. Brain evolution relating to family, play, and the separation call. *Arch Gen Psychiatry.* 42 (4), 405-417.

Makris N, Goldstein JM, Kennedy D, Hodge SM, Caviness VS, Faraone SV, Tsuang MT, Seidman LJ. 2006. Decreased volume of left and total anterior insular lobule in schizophrenia. *Schizophr Res.* 83(2-3), 155-171.

Masten CL, Morelli SA, Eisenberger NI. 2011. An fMRI investigation of empathy for ‘social pain’ and subsequent prosocial behavior. *NeuroImage.* 55, 381–388.

Meier, S. 2005. Conditions under which women behave less/more prosocially than men. Mimeo, Kennedy School of Government, Harvard University. pp. 1-19.

McCarthy G, Blamire AM, Puce A, Nobre AC, Bloch G, Hyder F, Goldman-Rakic P, Shulman RG. 1994. Functional magnetic resonance imaging of human prefrontal cortex activation during a spatial working memory task. *Neurobiology*, 91, 8690-8694.

Mercadillo RE, Arias N. 2010. Violence and compassion: a bioethical insight into their cognitive bases and social manifestations. *ISSJ* 200–201 r UNESCO 2011.

Mercadillo RE, Barrios FA, Díaz JL. 2007. Definition of compassion-evoking images in a mexican sample. *Percept Motor Skill*. 105, 661-676.

Mercadillo RE, Díaz, JL, Passaye EH, Barrios FA. 2011. Perception of suffering and compassion experience: Brain gender disparities. *Brain Cognition*. 76, 5-14.

Mercadillo, RE. 2012. *RETRATOS DEL CEREBRO COMPASIVO*. Una reflexión en la neurociencia social, los policías y el género. Edit. Centro de Estudios Filosóficos, Políticos y Social Vicente Lombardo Toledano. pp. 93-109.

Mercadillo RE, Trujillo C, Sánchez JC. 2012. In ADHD patients performing the Counting Stroop task: a social neuroscience approach. *Psychol Rep*. 111, 2, 652-668.

Michalska KJ, Kinzler KD, Decety J. 2013. Age-related sex differences in explicit measures of empathy do not predict brain responses across childhood and adolescence. *Dev Cogn Neurosci*. 3, 22-32.

Milgram S. 1963. Behavioral study of obedience. *J Abnor Soc Psychol*. 67 (4) 371–378.

Moll J, Zahn R, Oliveira-Souza R, Krueger F, Grafman J. 2005. The neural basis of human moral cognition . *Nat Rev Neurosci*. 6, 799-809.

Molnar-Szakacs I, Iacoboni M, Koski L, Mazziota J. 2005. Functional Segregation within Pars

Opercularis of the Inferior Frontal Gyrus: Evidence from fMRI Studies of Imitation and Action Observation. *Cereb Cortex*. 15 (7) 986-994.

Mutschler I, Wieckhorst B, Kowalewski S, Derix, J, Wentlandt J, Schulze-Bonhage A, Ball T. 2009. Functional organization of the human anterior insular cortex. *Neurosci Lett*. 457, 66-70.

Ogawa S, Lee TM, Nayak AS, Glynn PP. 1990. Oxygenation-sensitive contrast in magnetic resonance image of rodent brain at high magnetic fields. *Magn. Reson. Med.*, 14 (1): 68-78.

Olson IR, Plotzker A, Ezzyat Y. 2007. The Enigmatic temporal pole: a review on findings on social and emotional processing. *Brain*. 130, 1718-1731.

O'Reilly JX, Woolrich MW, Behrens TE, Smith SM, Johansen-Berg H. 2012. Tools of the Trade: Psychophysiological Interactions and Functional Connectivity. *Soc Cogn Affect Neur*. 7, 604-609.

Perner, J. 1992. Grasping the concept of representation: Its impact on 4-years-olds' theory of mind and beyond. *Hum Dev*. 35, 146-155.

Purves D, Augustine GJ, Fitzpatrick D, Hall WC, LaMantia AS, McNamara JO, White LE. 2008. *Neuroscience*. Cuarta edición. Edit. Sinauer Associates Inc. USA. pp. 475-582.

Riem MMR, Bakermans-Kranenburg MJ, Pieper S, Tops M, Boksem MAS, Vermeiren R, Van Ijzendoorn MH, Rombouts S. 2011. Oxytocin Modulates Amygdala, Insula, and Inferior Frontal Gyrus Responses to Infant Crying: A Randomized Controlled Trial. *Biol Psychiat*. 70, 291-297.

Rizzolatti G, Fadiga L, Gallese V, Fogassi L. 1996. Mental representations of motor acts. *Cognitive Brain Res*. 3 (2), 131-141.

Rodrigues S, Saslow L, García N, John OP, Keltner D. 2009. Oxytocin receptor genetic variation relates to empathy and stress reactivity in humans. *Proc Natl Acad Sci USA*. 106, 21437-21441.

Rogers BP, Morgan VL, Newton AT, Gore JC. 2007. Assessing Functional Connectivity in the Human Brain by fMRI. *Magn Reson Imaging*. 25(10), 1347–1357.

Schoenemann PT, Sheehan MJ, Glotzer LD. 2005. Prefrontal white matter volume is disproportionately larger in humans than in other primates. *Nat Neurosci*. 8, 242–252.

Silva K, Bessa J, De Sousa L. 2012. Auditory contagious yawning in domestic dogs (*Canis familiaris*): First evidence for social modulation. *Anim Cogn*. 15, 721-724.

Singer T, Seymour, B, O'Doherty J, Stephan KE, Dolan RJ, Frith CD. 2006. Empathic neural responses are modulated by the perceived fairness of others. *Nature*. 439, 26.

Smith S. 2002. Fast Robust Automated Brain Extraction. *Hum Brain Mapp*. 17(3), 143-155.

Sokoloff L. 1977. Relation between physiological function and energy metabolism in the central nervous system. *J Neurochem*. 29, 13-26.

Tangney JP, Stuewig J, Mashek D. 2007. Moral Emotions and Moral Behavior. *Annu Rev Psychol*. 58, 345–372.

Van Overwalle F. 2009. Social Cognition and the Brain: A Meta-Analysis. *Hum Brain Mapp*. 30, 829–858.

Von der Heide RJ, Skipper LM, Klobusicky E, Olson IR. 2013. Dissecting the uncinate fasciculus: disorders, controversies and a hypothesis. *Brain*. Publicado en línea: 10.1093/brain/awt094.

Whittle S, Yucel M, Yap MBH, Nicholas BA. 2011. Sex differences in the neural correlates of emotion: Evidence from neuroimaging. *Biol Psychol.* 87, 319-333.

Worsley KJ. 2001. Statistical analysis of activation images. En: Jezzard, P., Matthews, P.M., Smith, S.M. *Functional MRI: an introduction to methods.* New York Oxford University Press. pp. 251-270.

Weller M. 1993. Anterior opercular cortex lesions cause dissociated lower cranial nerve palsies and anarthria but no aphasia: Foix-Chavany-Marie syndrome and “automatic voluntary dissociation. *J Neurol.* 240(4), 199-208.

Yu C, Zhou Y, Liu Y, Jiang T, Dong H, Zhang Y, Walter M. 2011. Functional segregation of the human cingulate cortex is confirmed by functional connectivity based neuroanatomical parcellation. *NeuroImage.* 54(4), 2571-2581.

Zaki J, Weber J, Bolger N, Ochsner K. 2009. The neural bases of empathic accuracy. *Proc Natl Acad Sci U S A.* 106, 11382-11387.

## 11.ANEXOS.

### ANEXO A

#### CARTA DE CONSENTIMIENTO

Yo \_\_\_\_\_ expreso que:

He sido informado que la finalidad de la investigación es obtener datos sobre la conducta y la actividad cerebral durante la exposición a imágenes con el objetivo de estudiar la respuesta compasiva en adultos sanos de entre 18 y 65 años de edad.

Acepto ingresar en un proceso de selección que consiste en una breve valoración psicológica compuesta por los siguientes instrumentos: Escala de Edimburgo, la cual evalúa lateralidad manual; Inventario de Síntomas SCL 90, utilizado para identificar síntomas de trastornos psiquiátricos; Inventario de Temperamento y Carácter (ITC) e Inventario de Reactividad Interpersonal (IRI) que identifican rasgos de personalidad. Asimismo, he sido informado de los lineamientos de seguridad para ingresar al protocolo.

En caso de cumplir con los criterios de inclusión podré ingresar al protocolo de Resonancia Magnética funcional.

La duración total de la valoración y el experimento dentro del resonador magnético será aproximadamente de dos horas.

He hablado con el investigador responsable y ha contestado mis preguntas en términos que he podido comprender. Entiendo que puedo hacer cualquier pregunta o que puedo suspender mi participación en cualquier momento sin consecuencia alguna. Mi identidad no será revelada en ninguna referencia del estudio o sus resultados.

El estudio de Resonancia Magnética podría revelar información con respecto a alguna alteración no diagnosticada previamente. Si este fuese el caso las normas de bioética actuales requieren que se me informe al respecto. Comprendo que los estudios de Resonancia Magnética para investigación no están diseñados como herramientas diagnósticas, por lo que no necesariamente son capaces de detectar anomalías anatómicas, funcionales o patologías existentes.

Basado en esta información, otorgo la autorización voluntaria e informada para participar en este estudio.

Si tengo alguna pregunta puedo contactar a:

Dr. Fernando A. Barrios Álvarez  
Tel. Lab. : (442) 238 10 53 ext. 34053

Psic. Geraldine Rodríguez Nieto  
Tel. (044-55) 12 94 43 46

Fecha:

---

Nombre y firma





Respuestas conductuales.

Serie: Imágenes inductoras de compasión vs Imágenes sociales.

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	XIII	XIV	Total
mujer	1	1	1	1	0	1	1	0	1	0	1	0	1	1	8
mujer	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0	1	12
mujer	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	13
mujer	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	13
mujer	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	13
mujer	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	14
mujer	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	14
mujer	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	14
mujer	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	14
mujer	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	14
mujer	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	13
mujer	1	1	1	1	1	0	1	1	0	1	1	1	1	1	12
mujer	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	13
mujer	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0	1	12
mujer	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	13
mujer	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	13
mujer	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	14
mujer	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	14
mujer	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	12
mujer	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	14
mujer	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	14
hombre	1	1	1	1	1	0	1	1	0	1	1	1	1	0	11
hombre	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	13
hombre	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	13
hombre	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	13
hombre	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	12
hombre	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	14
hombre	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	14
hombre	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	13
hombre	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	13
hombre	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	13
hombre	1	1	1	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0	11
hombre	0	1	1	1	0	1	1	0	0	1	1	1	1	1	14
hombre	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	13
hombre	1	1	1	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0	11
hombre	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	14

Tabla 10. Se muestran las respuestas emitidas por los sujetos dentro del resonador magnético a través de las botonerías ante cada estímulo (fotografías I-XIV). El número uno indica que el estímulo si causó compasión al sujeto y el número cero indica que no o que no respondió.

Mapas de activación.

Imágenes inductoras de compasión vs Objetos neutros. 15 Hombres.

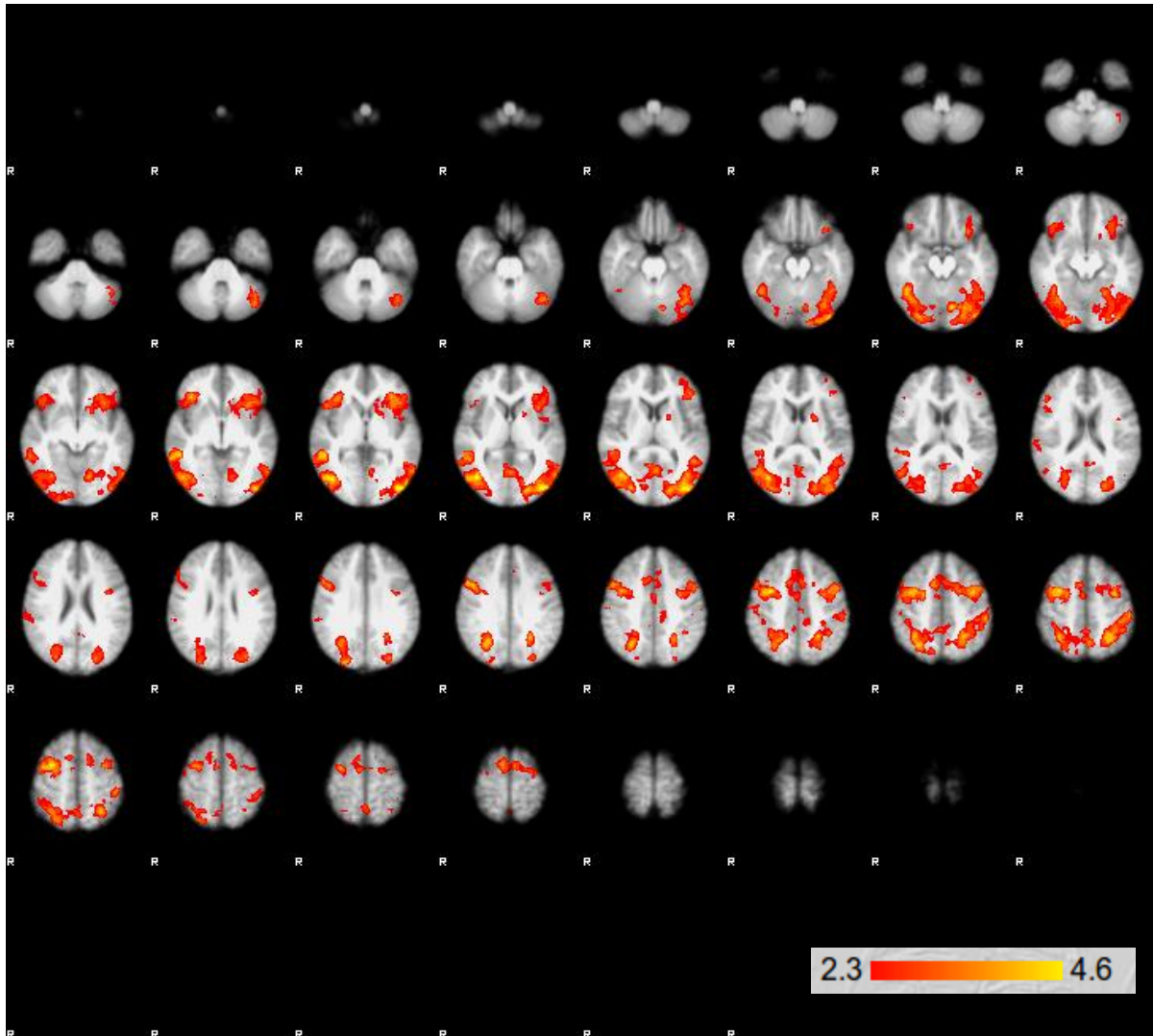


Figura 18. Se muestra el mapa de activación del promedio del grupo de los hombres para la serie Imágenes inductoras de compasión vs Objetos neutros. Se observa activación en: giro precentral, giro frontal superior, giro frontal inferior, precuneus, corteza occipital lateral, giro lingual, corteza orbitofrontal, operculum, giro temporal medio, estriado, ínsula, cíngulo posterior, giro fusiforme y cerebelo.

Imágenes inductoras de compasión vs Objetos neutros. 21 mujeres.

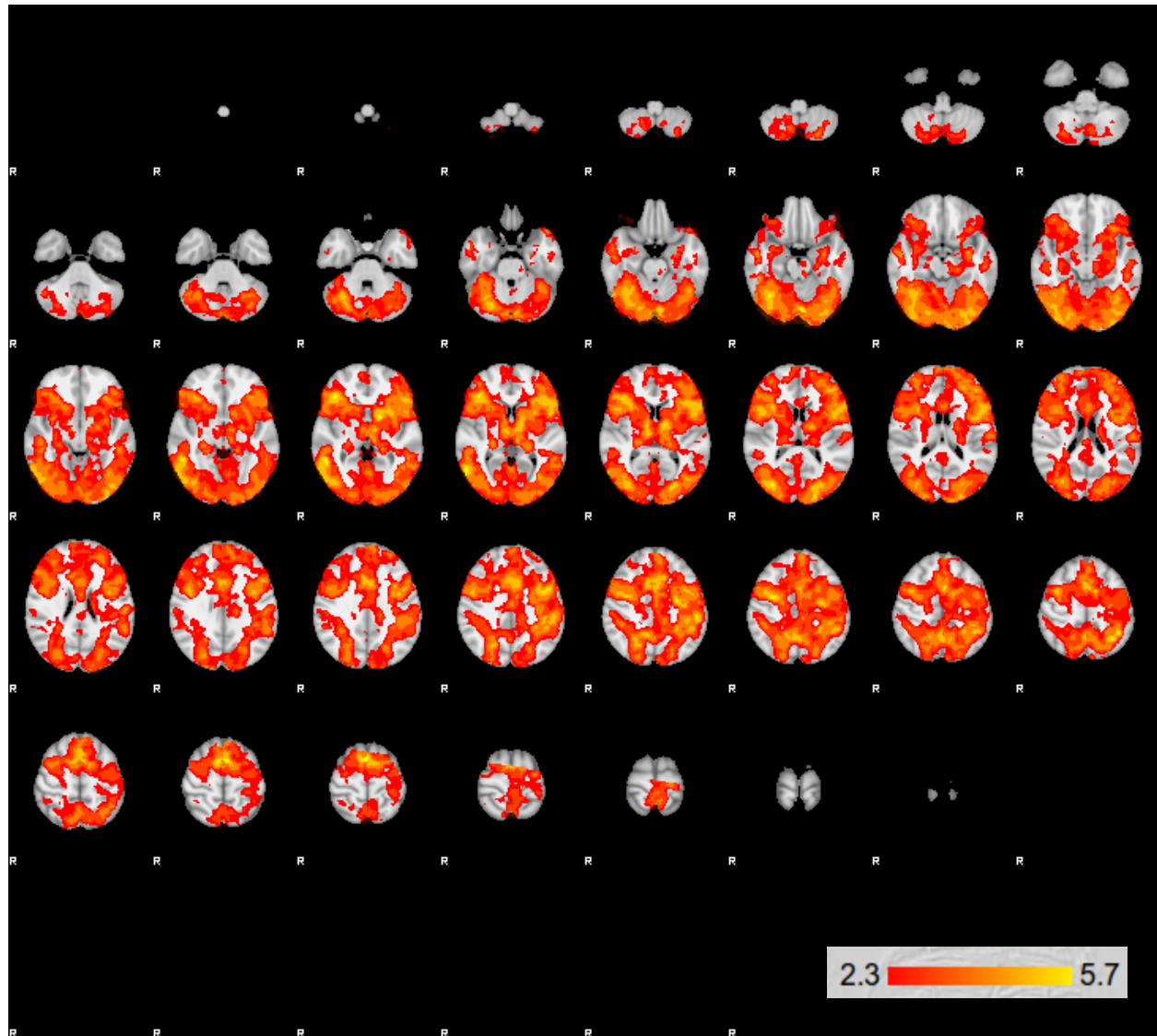


Figura 19. Se muestra el mapa de activación del promedio del grupo de las mujeres para la serie Imágenes inductoras de compasión vs Objetos neutros. Se observa activación en: giro precentral, polo frontal, giro postcentral, giro paracingulado, lóbulo parietal superior, giro frontal superior, giro frontal inferior, precuneus, corteza occipital lateral, giro lingual, corteza orbitofrontal, operculum, giro temporal medio, estriado, ínsula, giro fusiforme, cíngulo anterior, giro supramarginal, tálamo, área ventral tegmental, sustancia nigra y cerebelo.

Imágenes inductoras de compasión vs Imágenes sociales. 15 hombres.

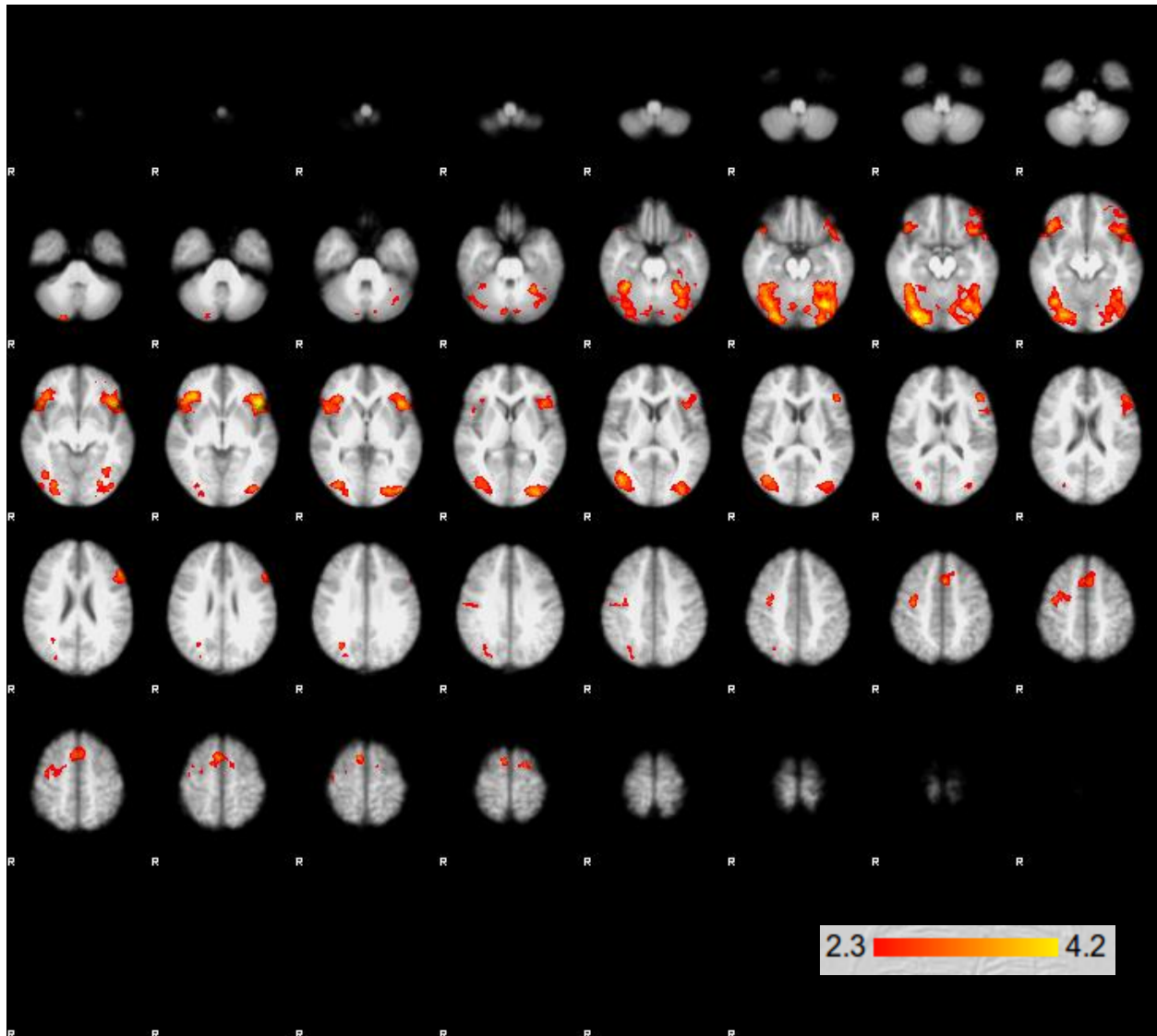


Figura 20. Se muestra el mapa de activación del promedio del grupo de los hombres para la serie Imágenes inductoras de compasión vs Imágenes sociales. Se observa activación en: corteza motora suplementaria, giro precentral, giro frontal superior, giro paracingulado, giro frontal medio, giro frontal inferior, corteza occipital lateral, corteza orbitofrontal, ínsula, operculum, giro fusiforme, polo temporal, polo frontal y cerebelo.

Imágenes inductoras de compasión vs Imágenes sociales. 21 mujeres.

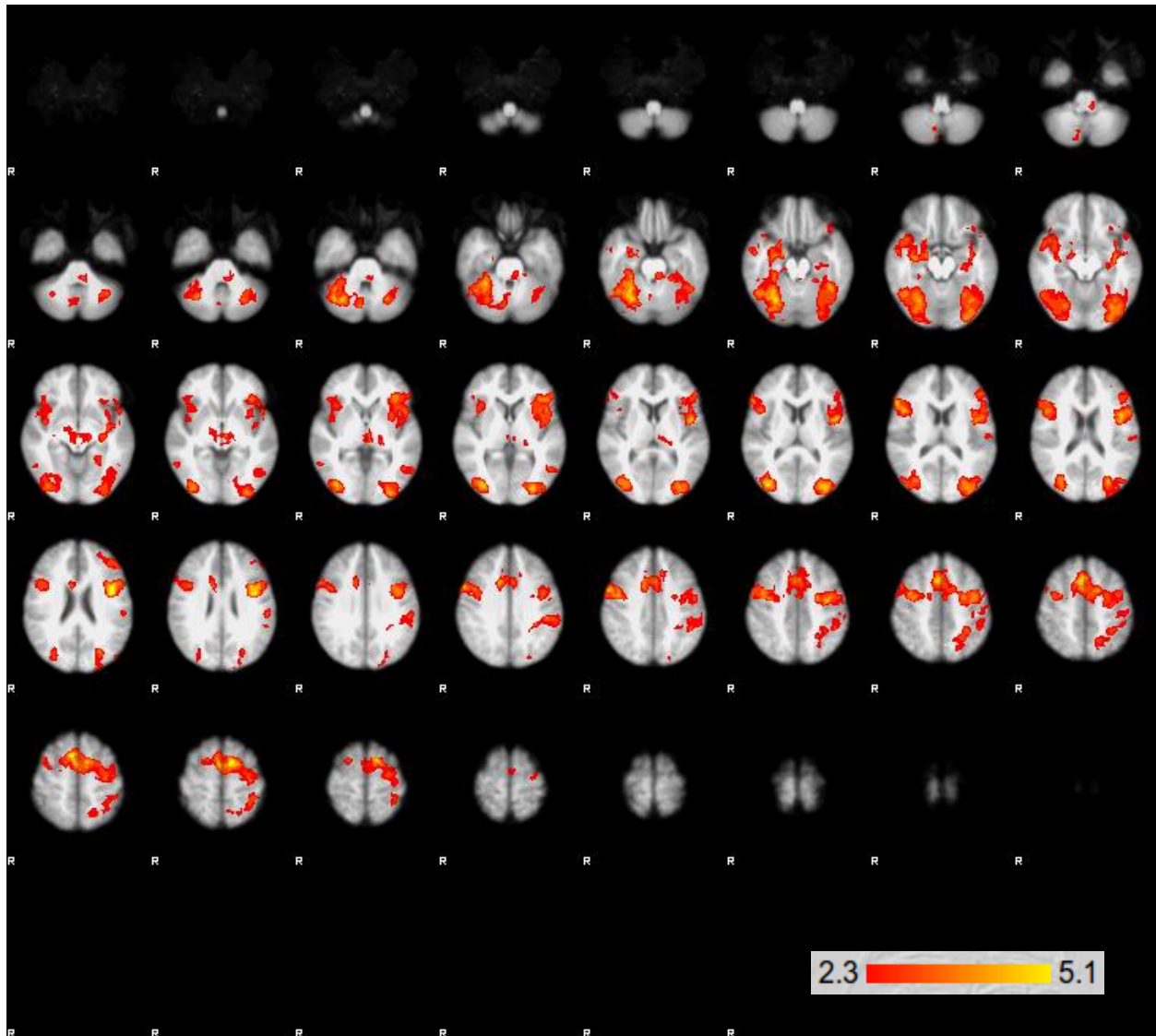


Figura 20. Se muestra el mapa de activación del promedio del grupo de las mujeres para la serie Imágenes inductoras de compasión vs Imágenes sociales. Se observa activación en: corteza motora suplementaria, giro precentral, giro frontal superior, lóbulo parietal superior, giro paracingulado, giro supramarginal, giro frontal medio, giro frontal inferior, corteza occipital lateral, corteza orbitofrontal, ínsula, operculum, cíngulo anterior, giro fusiforme, polo temporal, polo frontal, giro lingual, tálamo, área ventral tegmental, núcleo rojo y cerebelo.

Imágenes sociales vs Objetos neutros. 15 hombres.

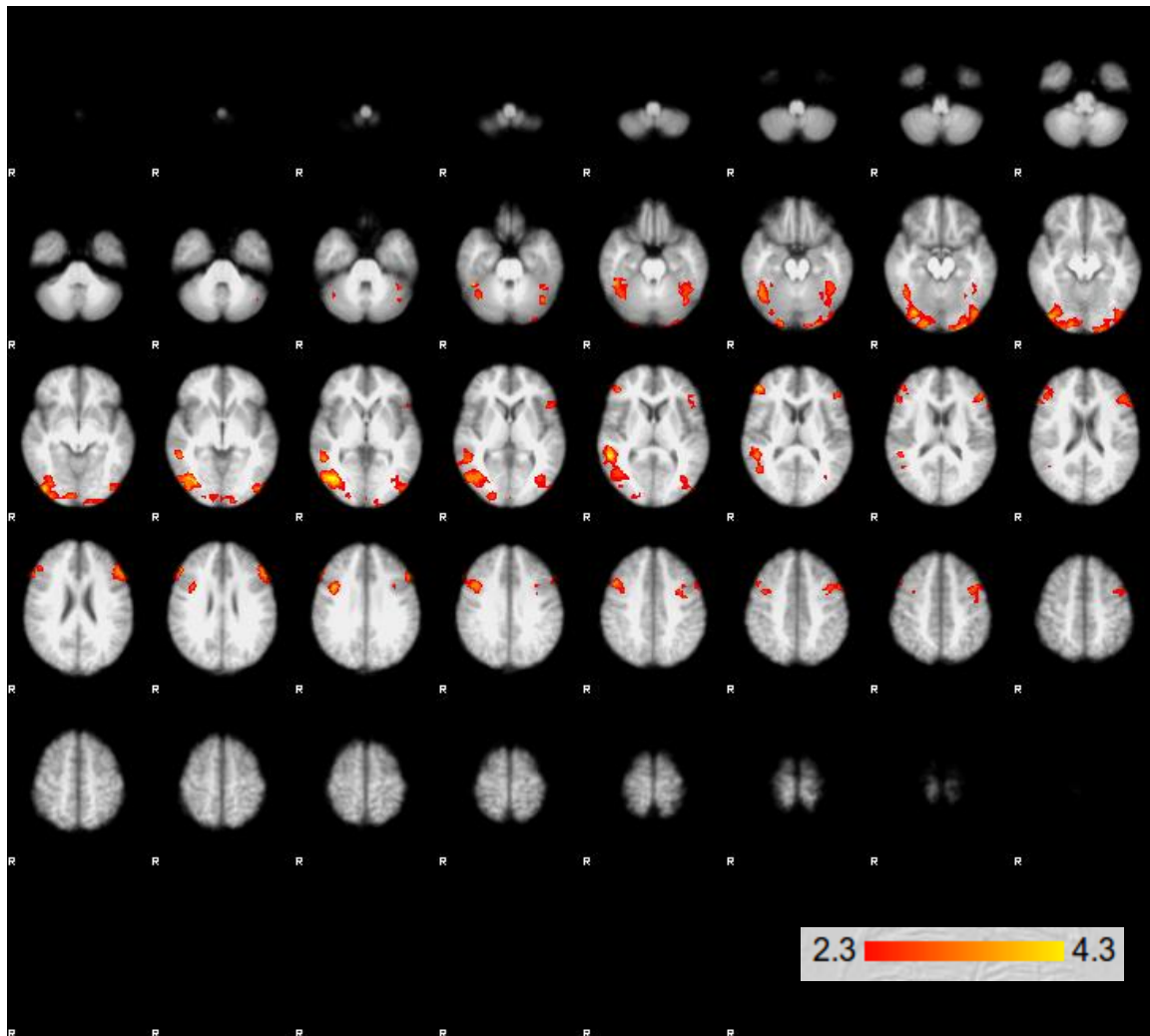


Figura 21. Se muestra el mapa de activación del promedio del grupo de los hombres para la serie Imágenes sociales vs Objetos neutros. Se observa activación en: polo frontal, giro frontal medio, giro precentral, giro frontal inferior, giro supramarginal, corteza occipital lateral, giro temporal medio, polo occipital, giro fusiforme y cerebelo.



Imágenes sociales vs Objetos neutros. 21 mujeres.

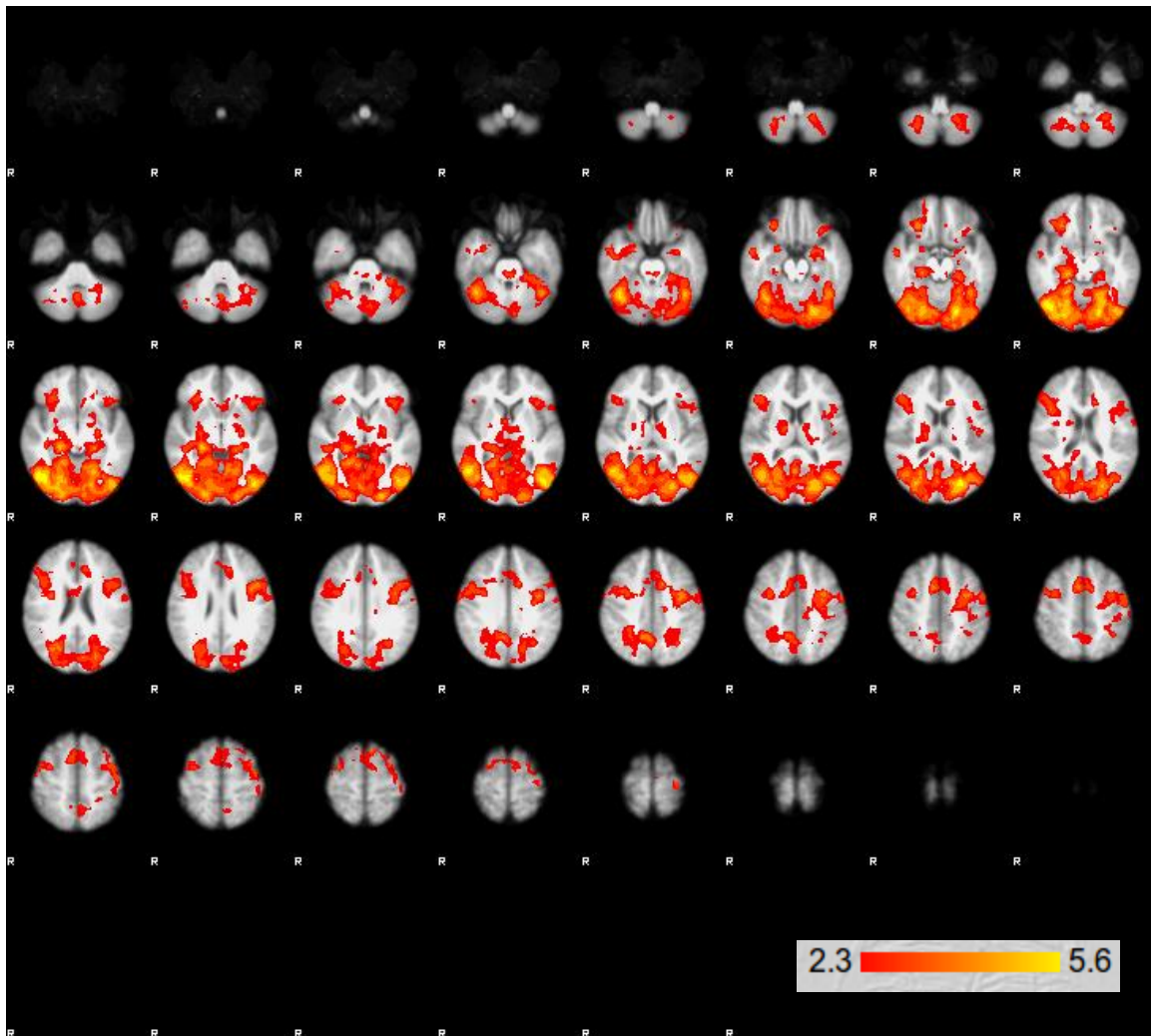


Figura 22. Se muestra el mapa de activación del promedio del grupo de las mujeres para la serie Imágenes sociales vs Objetos neutros. Se observa activación en: corteza motora suplementaria, polo frontal, precuneus, lóbulo parietal superior, giro paracingulado, giro frontal medio, giro precentral, giro frontal inferior, giro supramarginal, corteza occipital lateral, giro temporal medio, polo occipital, giro fusiforme, giro lingual, giro parahipocampal, corteza orbital, tálamo y cerebelo.