



**Trabajo final de grado
Licenciatura en Ciencias Biológicas**

**ESTUDIO DE LAS BASES NEURALES DE LA TOMA DE DECISIONES ANTE EL
CONFLICTO DE ACERCAMIENTO - EVITACIÓN MEDIANTE UNA TAREA SOCIAL
INTERACTIVA**

Bch. Michelle Guillén

Facultad de Ciencias
Universidad de la República

**Tutora: Dra. Victoria Gradín
Co-Tutor: Msc. Alejo Acuña**

Agradecimientos

Quiero expresar mi profundo agradecimiento a la Dra. Victoria Gradín, por acompañarme con paciencia y generosidad, brindándome claridad en cada decisión.

También al Mag. Alejo Acuña, por su constante apoyo a lo largo de todo el proceso de análisis de datos y por su generosidad al compartir sus conocimientos.

Agradezco sinceramente a la Dra. Valentina Paz y a la Mag. Natalia Huart por su tiempo y compromiso al aceptar formar parte del tribunal evaluador de este trabajo.

A la Facultad de Ciencias y a todos sus docentes, por haberme transmitido una genuina pasión por el conocimiento.

Al Centro de Investigación Básica en Psicología, por brindarme un espacio de trabajo ameno para realizar mi tesis.

Gracias al Centro Uruguayo de Imagenología Molecular (CUDIM), por permitirme utilizar el resonador, y a los técnicos Fiorella, Victoria, Bruno, Gerardo, Javier, Ornella y Natalia, cuya colaboración fue indispensable para llevar adelante la investigación.

A mis compañeros de línea, la Lic. Catalina Fernández y el Lic. Sebastián Morales, por su compañía y apoyo en cada jornada compartida.

A la Lic. Antonella Brandani, por su valiosa colaboración en el reclutamiento y coordinación de los/as voluntarios/as que participaron en el estudio.

A Alfonso Pérez, por su ayuda en distintos aspectos de programación.

A la Lic. Laura Mendaro, mi amiga y compañera de línea por recordarme constantemente que en ciencias el trabajo colectivo siempre es más grande que el individual.

A todas las personas que conocí durante la carrera y formaron parte de largas jornadas de estudio, de intercambio cálido y gratificante, en especial ; Florencia Guillén, Magdalena Etchemendy, Santiago Teijón, Matilde Alarcon, Mauricio Segredo, Alan Placeres.

A mis amigos fuera de la facultad, siempre apoyándome cuando más lo necesitaba, en especial a Lucia Acevedo y Maria Reyes.

A Gabriela Cuestas, por el apoyo infinito del día a día.

A mi madre, abuela, tías, y hermano por darme todo el amor posible.

Índice

Introducción	5
Trastorno depresivo	5
Interacción social en la depresión	6
Conflicto de acercamiento-evitación y toma de decisiones	6
Resonancia magnética funcional como instrumento imagenológico para las tareas interactivas	8
Bases neurales de toma de decisiones durante el conflicto de acercamiento evitación	9
Objetivo general	11
Objetivos específicos	11
Materiales y Métodos	11
Participantes	11
Sesión experimental	13
Preparativo para la tarea interactiva	14
Tarea interactiva	15
Cuestionarios	17
Metodología de análisis comportamentales y emocionales	18
Metodología de análisis imagenológicos	19
Resultados toma de decisiones	20
Resultados emocionales	21
Resultados imagenológicos	23
Discusión	23
Limitaciones y perspectivas a futuro	25
Conclusiones	25
Bibliografía	26

Resumen

La toma de decisiones en situaciones de conflicto es un proceso central en la vida cotidiana. Uno de los dilemas más comunes que enfrentan las personas es el conflicto de acercamiento/evitación, en el cual un mismo estímulo o situación genera simultáneamente oportunidades beneficiosas y riesgos. En contextos sociales, esta dualidad se manifiesta cuando interactuar con otros puede proporcionar beneficios como reconocimiento social o apoyo pero también implicar posibles amenazas como rechazos o críticas. Por lo tanto, comprender los mecanismos neurales que sustentan esta evaluación de riesgos y beneficios resulta fundamental para desentrañar cómo los individuos seleccionan comportamientos en situaciones complejas y para orientar el desarrollo de intervenciones clínicas, particularmente en trastornos en los que estas evaluaciones se realizan de manera sub óptima.

El presente estudio se desarrolla dentro del equipo de Neurociencia Cognitiva y Salud Mental del Centro de Investigación Básica en Psicología (CIBPsi, Facultad de Psicología, UdelaR), como parte del proyecto I+D "Estudio de los mecanismos neurales que subyacen a la toma de decisiones de acercamiento-evitación social en depresión". Este proyecto busca analizar cómo varían las respuestas cerebrales ante este tipo de conflictos en función de los síntomas depresivos de los participantes.

Aunque el objetivo final del proyecto I+D es avanzar en la comprensión de la toma de decisiones en personas con depresión, la presente tesis se enfoca en examinar los correlatos neurales de la toma de decisiones en un conflicto de acercamiento/evitación social en población general. Para ello se crea una tarea experimental diseñada para evaluar estos procesos en un entorno de resonancia magnética funcional (fMRI), donde se busca identificar las regiones cerebrales implicadas y su relación con las respuestas emocionales, lo que en estudios futuros permitirá comparar estos hallazgos entre individuos con y sin síntomas depresivos.

El equipo de la línea de Neurociencia Cognitiva y Salud Mental tiene amplia experiencia en el diseño de tareas experimentales interactivas para evaluar interacciones sociales, tanto desde un enfoque comportamental (Uriarte-Gaspari et al., 2022; Fernández-Theoduloz et al., 2019) como a través del estudio de sus bases neurales mediante fMRI (Gradin et al., 2015; Gradin et al., 2016). En este contexto, el presente trabajo se suma a esta línea de investigación, contribuyendo a la validación de una tarea que facilitará la exploración de

diferencias en la toma de decisiones entre grupos clínicos y controles en investigaciones futuras.

En los siguientes capítulos, se presentará el marco teórico que fundamenta el estudio, detallando la naturaleza del conflicto de acercamiento/evitación, su impacto en la toma de decisiones y las redes cerebrales implicadas. Luego, se describirá la metodología utilizada para evaluar estos procesos mediante neuroimagen, y finalmente se discutirán los resultados obtenidos y sus implicaciones en la comprensión de la toma de decisiones en contextos sociales.

Introducción

Esta tesis se enmarca en un proyecto de investigación que busca comprender los mecanismos neurales involucrados en conflictos de acercamiento-evitación en contextos sociales en personas con síntomas depresivos. Es por eso que si bien el presente trabajo se enfoca en población general, se comienza con una breve presentación del trastorno depresivo. Luego, se abordarán aspectos vinculados a la interacción social en la depresión, al conflicto de acercamiento-evitación como proceso central en la toma de decisiones, y a las bases neurales asociadas a estos mecanismos en contextos sociales.

Trastorno depresivo

El trastorno depresivo mayor (TDM) es un trastorno mental de alta prevalencia, se estima que afecta a más de 280 millones de personas a nivel mundial (World Health Organization: WHO & World Health Organization: WHO, 2023)

Los síntomas característicos del TDM son un estado de ánimo bajo y una marcada disminución del interés en casi todas las actividades (American Psychiatric Association, 2013). Se ha demostrado que la depresión afecta significativamente el funcionamiento social y la calidad de vida de quienes la padecen (Spijker et al., 2004), provocando un deterioro severo en más del 50 % de los casos (Kessler & Bromet, 2013).

Las personas deprimidas reportan más conflictos y dificultades en su vida familiar, poseen círculos sociales reducidos, realizan pocas o ninguna actividad de esparcimiento y en comparación con personas sin el trastorno afirman sentirse menos satisfechas con su vida (Hirschfeld et al., 2000; Kessler et al., 2012).

El TDM puede convertirse en un problema grave de salud mental y, en casos extremos, llevar al suicidio (Cabezas-Heredia, 2021). Es preocupante que su prevalencia ha aumentado en las últimas décadas (Hidaka, 2012; GBD, 2018), y hasta la fecha no existen tratamientos completamente eficaces. Comprender mejor la depresión, especialmente sus bases neurales, es fundamental para explicar su diversidad clínica y desarrollar tratamientos más efectivos (Woody & Gibb, 2015).

Interacción social en la depresión

Las personas con depresión presentan dificultades en sus relaciones íntimas, tienen problemas con la asertividad y en general, viven interacciones sociales más negativas, estresantes y conflictivas. (Joiner & Timmons, 2009; Papakostas et al., 2004; Zlotnick et al., 2000).

Además, las personas deprimidas tienden a interpretar negativamente las acciones y palabras de los demás (Bora et al., 2016; Kupferberg et al., 2016).

Como consecuencia, las personas con depresión tienden a tener menos interacciones sociales y reportan disfrutar menos de ellas (Fredman et al., 1988; Kupferberg et al., 2016).

Estas dificultades que se presentan en la interacción social, contribuyen a la persistencia del trastorno y pueden agravar los síntomas típicos de la depresión. A su vez, el empeoramiento de los síntomas afecta aún más el funcionamiento social, creando un círculo vicioso que incrementa el sufrimiento y la gravedad del trastorno (Hirschfeld et al., 2000). Con el tiempo, estas dificultades pueden llevar a la persona a evitar las interacciones sociales (Hirschfeld et al., 2000; Kupferberg et al., 2016).

Estos efectos debilitantes no solo afectan el estado emocional y psicológico de quienes padecen el trastorno depresivo mayor, sino que también tienen repercusiones directas en sus interacciones sociales. La dificultad para experimentar placer, junto con una visión negativa de sí mismos y del mundo, contribuye a la aparición de conflictos y al deterioro de sus relaciones personales. (Kupferberg et al., 2016) Por lo tanto, explorar cómo la depresión

impacta en la interacción social resulta fundamental para comprender la complejidad de este trastorno y diseñar estrategias más efectivas de intervención.

Conflicto de acercamiento-evitación y toma de decisiones

El conflicto de acercamiento-evitación se refiere a una situación en la que una misma acción puede conducir tanto a una recompensa como a un resultado aversivo. Es decir, implica una coexistencia de motivaciones opuestas ante una decisión concreta (Kirlic et al., 2017). Un ejemplo del mismo podría darse ante la decisión de un estudiante de presentarse a un examen oral final en su facultad. En este caso, una persona podría verse atraída por la posibilidad de demostrar su dominio de la materia, obtener una calificación alta y reforzar su expediente académico, y al mismo tiempo sentirse repelida por el temor a enfrentarse a preguntas muy complejas, ser juzgada con rigor por el tribunal y experimentar un nivel elevado de ansiedad, con el riesgo de no alcanzar la nota deseada. Esta dualidad en la toma de decisiones puede generar un conflicto entre la motivación para acercarse y la motivación para evitar, resultando en un conflicto de acercamiento-evitación (Moughrabi, N. 2022).

Las teorías de acercamiento-evitación (approach-avoidance) proponen la existencia de dos sistemas fisiológicos que regulan el comportamiento: el sistema de acercamiento (approach system) y el sistema de evitación (avoidance system) (Kirlic et al.,2017).

El sistema de evitación se activa ante estímulos amenazantes y está vinculado con respuestas defensivas, mientras que el sistema de acercamiento impulsa la búsqueda de recompensas, como el alimento, la reproducción y el vínculo social (Aupperle et al., 2011)

Estos conflictos se presentan de manera natural en todas las personas, pero se ha propuesto que en los trastornos como la depresión puede ocurrir una alteración en los sistemas de acercamiento-evitación, resultando en toma de decisiones subóptimas (Aupperle et al., 2011; Ironside et al., 2020; Smith et al., 2021), ya que podría estar llevando a la persona a un sacrificio de posibles recompensas (Kirlic et al., 2017). Esta alteración se debe a una baja actividad del sistema de acercamiento que está asociado a los síntomas de anhedonia (Trew, 2011; Ironside et al., 2019) y una alta actividad del sistema de evitación (Ironside et al., 2020).

Es necesario analizar los procesos subyacentes al conflicto para comprenderlo en profundidad. En este contexto, el estudio de los mecanismos neurales que intervienen en su resolución adquiere gran relevancia ya que permite identificar cómo interactúan en el cerebro los sistemas de recompensa y amenaza para influir en nuestras elecciones.

Numerosos estudios con animales (Kumar et al., 2013; Millan & Brocco, 2003) han sido fundamentales para el desarrollo de los modelos que explican el conflicto de acercamiento-evitación. Por ello, en los últimos años, ha habido un aumento del interés por usar paradigmas derivados de estudios en animales para estudiar la ansiedad en humanos, lo que ha permitido generalizar los hallazgos y mejorar la aplicabilidad clínica de los resultados (Kirlic, Young & Aupperle, 2017). Aún así, sigue siendo necesario traducir estos paradigmas de animales a humanos para comprender mejor el conflicto de acercamiento-evitación en trastornos psiquiátricos como la depresión (Papakostas et al., 2004; Zlotnick et al., 2000).

Resonancia magnética funcional como instrumento imagenológico para las tareas interactivas

La Resonancia Magnética Funcional (RMf) es una técnica no invasiva de neuroimagen capaz de detectar los cambios fisiológicos ocurridos en el cerebro relacionados con procesos mentales, por ejemplo durante la ejecución de una tarea y permite explorar diferencias entre poblaciones clínicas con la finalidad de identificar el correlato neuronal de un trastorno neurológico o psiquiátrico (Bandettini, 2009). Se basa en principios físicos para obtener imágenes detalladas del cuerpo, en particular del cerebro.

La MRI estructural se utiliza para capturar imágenes de alta resolución de los tejidos, esencial en diagnósticos clínicos. Por su parte, la resonancia magnética funcional (fMRI) detecta cambios fisiológicos en el cerebro relacionados con la actividad neuronal. (Armony, J. L., 2012)

El resonador de MRI funciona mediante la interacción entre los protones de hidrógeno del cuerpo y un campo magnético externo. Este campo, generado por imanes superconductores, alinea temporalmente los protones. Luego, una señal de radiofrecuencia los desvía, y al volver a su estado inicial, emiten señales que son captadas y procesadas para formar

imágenes del interior del cuerpo, y luego procesadas para formar imágenes detalladas de las estructuras internas del cuerpo. (Bartelle, B. B.,2016).

La técnica de fMRI se basa en la señal BOLD (Blood Oxygen Level-Dependent), que detecta cambios en la oxigenación de la sangre en respuesta a la actividad neuronal. Cuando una región del cerebro se activa, consume más oxígeno, lo que provoca un aumento en el flujo sanguíneo hacia esa área para satisfacer la demanda. Este cambio en la concentración de oxígeno altera las propiedades magnéticas de la sangre, lo cual es detectado por el resonador. Las imágenes resultantes muestran las áreas del cerebro que se activan durante una tarea específica o en estado de reposo, permitiendo a los investigadores mapear la actividad cerebral con excelente resolución espacial y buena resolución temporal.

(Armony, J. L.,2012)

La fMRI es especialmente valiosa en neurociencias porque permite estudiar las funciones cerebrales de manera no invasiva mientras los sujetos realizan tareas cognitivas, emocionales o motoras. Esto ha facilitado avances significativos en la comprensión de los procesos mentales, las redes neuronales y los mecanismos subyacentes a diversas funciones cerebrales, como el pensamiento, la memoria y las emociones. (Leskinen, S. et al, 2024).

Además, las mejoras continuas en la tecnología de MRI, como la mayor resolución espacial y temporal, junto con el desarrollo de nuevas técnicas de análisis de datos, han ampliado las aplicaciones de la fMRI. Esto incluye la investigación en trastornos neuropsiquiátricos, la evaluación de la plasticidad cerebral, y el estudio de la conectividad funcional y estructural del cerebro en salud y enfermedad (Leskinen, S. et al, 2024).

Bases neurales de toma de decisiones durante el conflicto de acercamiento evitación

Los resultados de los estudios de neuroimagen en humanos han planteado que en el procesamiento del conflicto de acercamiento-evitación participarían, especialmente, circuitos implicados en los procesos de toma de decisión (Aupperle et al., 2015; Ironside et al., 2020; Schultz et al., 2019)

Varias regiones que se ven implicadas durante la toma de decisiones pertenecen a la red de saliencia (saliency network) (Aupperle et al., 2015) (Chand, G. B., & Dhamala, M. 2016) (Jordan, T., & Dhamala, M. 2023). Esta red de saliencia es una de las tres principales redes

neuronales a gran escala del cerebro vinculadas a la atención y otros procesos cognitivos. Parte de su función es activar la Red de Control Ejecutivo (CEN) para mantener el enfoque en las tareas más relevantes, gestionar los estímulos salientes y seleccionar comportamientos apropiados que se ajusten a los objetivos del momento. (Durán, P. S. 2022).

Las investigaciones de neuroimagen han demostrado que la red de saliencia, que incluye regiones como la ínsula anterior y la corteza prefrontal dorsomedial (dmPFC), desempeña un papel fundamental en la evaluación de estímulos socialmente relevantes y en la regulación de la toma de decisiones. (Aupperle et al., 2015; Ironside et al., 2020; McDermott et al., 2021; Schlund et al., 2016; Schultz et al., 2019).

Diversas investigaciones sugieren que la ínsula desempeña un papel clave en la toma de decisiones al procesar señales interoceptivas y transmitir las a niveles superiores del cerebro, en donde se integran con otras fuentes de información para su interpretación y utilización en el proceso de decisión (Aupperle et al., 2015; Kirlic et al., 2017; Uddin et al., 2017). Con la ínsula como nodo central, la red de saliencia facilita que otras regiones cerebrales generen respuestas conductuales adecuadas ante estímulos relevantes (Menon & Uddin, 2010). Entre estas regiones superiores se encuentran la corteza prefrontal (PFC), la corteza cingulada anterior (ACC) y la corteza prefrontal dorsolateral (dlPFC), las cuales desempeñan roles en la regulación cognitiva durante situaciones de conflicto (Aupperle et al., 2015).

En particular, la corteza prefrontal dorsolateral (dlPFC) se ha asociado con la integración de señales relacionadas con el valor de la recompensa, facilitando la dirección de la atención y la planificación de la ejecución de una decisión (Rosenbloom et al., 2012). Mientras que la corteza cingulada anterior (ACC) ha sido implicada en la supervisión de errores o conflictos en el entorno y la inhibición de las respuestas a los estímulos conflictivos (Rosenbloom et al., 2012; Schlund et al., 2016).

Por otro lado dentro de la PFC se ha visto que las subregiones dorsales mediales (dmPFC) están especializadas en el procesamiento de información social, mientras que las porciones ventrales (vmPFC) están especializadas en el procesamiento de información sobre el valor de las recompensas (Amodio y Frith, 2006; Rushworth y Behrens, 2008).

Finalmente, la activación de la red de saliencia también se alinea con su implicación en situaciones que requieren un esfuerzo cognitivo adicional o la inhibición de respuestas automáticas (Touroutoglou et al., 2020).

Objetivo general

Estudiar las bases neurales asociadas a la toma de decisiones en un conflicto de acercamiento-evitación mediante una tarea interactiva, registrando la actividad cerebral con resonancia magnética funcional (fMRI).

Objetivos específicos

Desarrollar una tarea interactiva que permita medir la actividad cerebral en personas expuestas a un conflicto de acercamiento-evitación. Se espera que esta tarea sea útil para el estudio futuro de la actividad cerebral en personas con depresión.

Apoyar en el reclutamiento de participantes e implementar la tarea en el resonador de 3T que se encuentra en el CUDIM.

Analizar los datos de neuroimagen obtenidos tras la implementación de la tarea, con el fin de observar la activación neural asociada al conflicto de acercamiento-evitación.

Evaluar las reacciones emocionales de los participantes ante la toma de decisiones en contextos de conflicto.

Materiales y Métodos

Participantes

El reclutamiento de voluntarios se llevó a cabo mediante la difusión de la investigación a través de las vías de comunicación interna de los servicios de la Universidad de la República y redes sociales. El estudio fue aprobado por el Comité de Ética de la Facultad de Psicología de la UdelaR. Se obtuvo el consentimiento informado de todos los participantes. Para reclutar

a los participantes, se llevó a cabo una iniciativa de divulgación a través de varios canales de comunicación en la UdelaR, como boletines de diferentes facultades y redes sociales. El reclutamiento se dirigió específicamente a personas de entre 18 y 30 años cursando algún estudio terciario. Las personas interesadas fueron dirigidas a la página web del servidor de psicología (<http://estudios.cibpsi.psico.edu.uy/node/288>) designada a través de un enlace proporcionado. En esta página web, se informó a los participantes sobre el estudio. Los participantes brindaron información personal y completaron el cuestionario psicológico del Inventario de Depresión de Beck (BDI-II), descrito por Beck et al.(1996) y Jesús Sanz et al. (2003). Posteriormente, se contactó a los participantes por teléfono para confirmar su elegibilidad sobre la base de criterios de inclusión y exclusión predeterminados. Estas preguntas se diseñaron para garantizar que los participantes cumplieran con los requisitos necesarios para su inclusión en el estudio y para excluir a aquellos que no cumplían estos criterios.

En la página web del estudio se registraron 934 personas interesadas en participar de la investigación, de las cuales 150 personas participaron del experimento en el CUDIM. De los/as 150 participantes se excluyeron un total de 13 participantes para el análisis de datos, 7 de los cuales fueron descartados por problemas técnicos asociados al resonador, 5 por no tolerar la totalidad de la sesión en el resonador, 1 persona porque dejó pasar muchas rondas de la tarea sin completar y 1 por tener un quiste cerebral (de conocimiento previo por parte del participante).

Criterios de selección

Los participantes debían cumplir con los siguientes requisitos:

- **Edad:** entre **18 y 30 años**.
- **Nivel educativo:** haber completado la educación secundaria.
- **Salud neurológica:** no presentar antecedentes de trastornos neurológicos.
- **Uso de medicación psiquiátrica:** no haber consumido fármacos psiquiátricos en las tres semanas previas al estudio.
- **Participación en estudios previos:** no haber participado en investigaciones previas de esta línea, en especial aquellas que tuvieran una historia encubierta.

Se aplicaron los siguientes criterios para descartar la participación en el estudio:

- **Embarazo:** no se permitió la participación de personas embarazadas o con posibilidad de estarlo.
- **Claustrofobia:** no fueron elegibles quienes sufrieran claustrofobia grave, ya que el entorno del resonador podría resultar intolerable.
- **Movilidad:** los participantes que no pudieran mantener una posición horizontal prolongada.
- **Dispositivos médicos:** se excluyeron personas con marcapasos, implantes cocleares, estimuladores neuronales u otros dispositivos implantados.
- **Lesiones metálicas:** no pudieron participar quienes tuvieran objetos metálicos incrustados en el cuerpo (balas, metralla, perdigones).
- **Ortodoncia e implantes dentales:** se excluyeron personas con dispositivos que afectaran la calidad de la imagen.
- **Piercings no removibles:** las personas con objetos metálicos permanentes tampoco fueron elegibles.

Sesión experimental

Durante la sesión experimental, los participantes completaron varios cuestionarios que sirvieron para la evaluación de variables psicológicas. Entre estos cuestionarios se encontraban el cuestionario Beck Depression Inventory (BDI) para evaluar síntomas de depresión (Beck et al. 1961), Liebowitz Social Anxiety Scale (LSAS) que evaluaba síntomas de ansiedad social (Liebowitz, 1987; Bobes et al., 1999), Fear of negative evaluation scale (FNE) (Collins et al., 2005), entre otros.

Una vez completados los cuestionarios, se comenzaba a explicar la tarea experimental a los/as participantes. La misma constaba de dos partes. En la primera parte, se les pedía a los participantes que grabaran un audio breve hablando sobre una película, serie o libro que les

hubiera gustado. Se les informaba que este audio sería evaluado por supuestos colaboradores que estarían conectados en línea, y que recibirán calificaciones en una escala del 1 al 10, otorgadas por colaboradores de distintos niveles de exigencia representados por estrellas (siendo los colaboradores de una estrella los menos exigentes y los de cuatro estrellas los más exigentes). Sin embargo, en realidad los colaboradores no existían, y las notas que recibían los participantes estaban prefijadas, de manera que todos los participantes recibían el mismo feedback.

Luego se les indicó que la segunda parte de la tarea experimental consistía en una reunión por Zoom, donde deberían exponer oralmente un tema elegido en el momento, de entre tres opciones brindadas por el equipo de investigación. Y se les informó que el nivel de exigencia de los evaluadores en la reunión dependería de las decisiones que tomaran en la tarea interactiva mientras estuvieran en el resonador.

Se subrayó que, en esta instancia de Zoom: Las cámaras de participantes y evaluadores debían permanecer encendidas; los evaluadores prestarían atención activa, harían preguntas y brindarían retroalimentación.

Asimismo, se explicó a los/as participantes que sus elecciones durante la tarea afectarían tanto la categoría de los evaluadores que estarían luego en el Zoom, así como el nivel de recompensa que podrían acumular durante la tarea.

Antes de continuar con lo pautado, se preguntó a cada participante si estaba de acuerdo en seguir con la tarea. Al expresar conformidad, se les otorgaron 5 minutos para escribir su presentación (para el audio).

Luego, se les explicó cómo grabar el audio, con una duración aproximada de 2 minutos. Durante la grabación, se les dejó solos y, al finalizar, se simuló el envío del audio a los evaluadores para su calificación.

Preparativo para la tarea interactiva

Mientras se encontraban en la sala contigua al resonador, donde se explicaba la tarea, se les pedía a los participantes que realizaran una práctica en la computadora. Esta instancia constaba de unas pocas rondas, en las cuales se les explicitaba que las notas que observaban como retroalimentación eran simuladas.

Esto aseguraba que, al ingresar al resonador, no tuvieran dudas sobre la tarea, comprendieran la duración de las pantallas y supieran cómo elegir las opciones. Al finalizar la práctica, completaban un cuestionario de verdadero/falso relacionado con la tarea. Si todas las respuestas eran correctas, podían avanzar a la siguiente fase del estudio, que consistía en el registro de la actividad cerebral mediante fMRI. Tanto la práctica como el cuestionario de verdadero/falso aseguraban que los participantes comprendieran correctamente la tarea.

Por razones de seguridad, antes de entrar al resonador, el imagenólogo encargado realizaba una serie de preguntas para verificar que no existieran contraindicaciones, como claustrofobia o la presencia de metal en el cuerpo (según los criterios de inclusión). En la misma sala del resonador, se colocaba una pantalla de proyección que los participantes podían ver a través de unos espejos adjuntos al casco de resonancia. Mientras se les proyectaba una tarea de prueba, podían ajustar las lentes para visualizar correctamente.

La proyección era controlada por una computadora en una sala adyacente al resonador, desde donde permanecíamos en comunicación constante con el participante para asegurarnos de que se sintiera cómodo y concentrado durante toda la sesión.

Tarea interactiva

Para el diseño y programación de la tarea se utilizó el software Psychopy (v1.84.2; Peirce et al., 2019). La tarea (fig. 1) constaba de 3 sesiones, cada una compuesta por 48 rondas, con un total de 144 rondas.

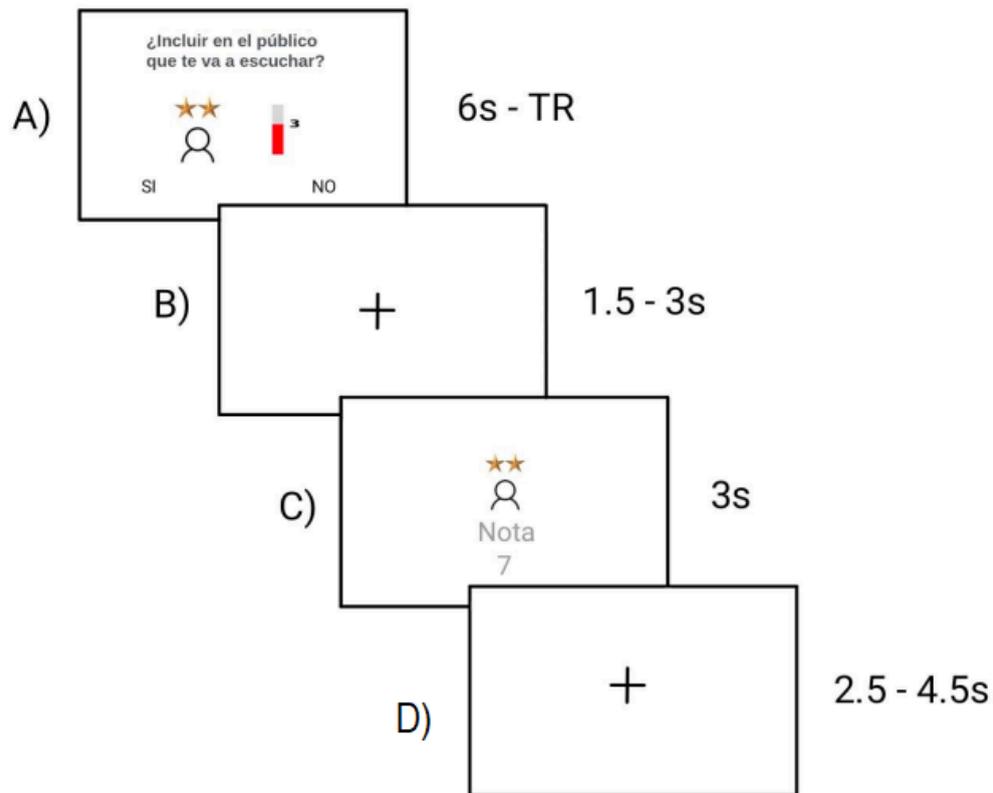


Figura 1. Diagrama de la tarea interactiva. A) Pantalla inicial de la ronda, en la que se presenta la categoría del colaborador y el participante decide si incluirlo o no en la presentación final por zoom. B y D) Jitter de 1.5 a 3 segundos y Jitter de 2.5 a 4.5 segundos, utilizados para separar los estímulos y así mejorar la calidad de los datos. C) Segunda y última pantalla de la ronda, donde se muestra la categoría del colaborador conjunto con la calificación que le otorgó al audio del participante.

En cada ronda, se muestra al participante una pantalla inicial que indica la categoría del colaborador representada por estrellas, junto con una barra de puntos que va desde 1 punto a 4 puntos (fig. 1 A). En esta pantalla, se le pregunta al participante si desea incluir al colaborador de esa categoría en la presentación por zoom, mientras se les expone las opciones "Sí" y "No". Las estrellas indican el nivel de exigencia del colaborador, siendo los evaluadores de categoría 4 los más exigentes, los evaluadores 3 más exigentes que los del 2, y los evaluadores con 1 estrella los menos exigentes.

Si el/la participante elige "Sí", aumentará las probabilidades de encontrarse con colaboradores de esa categoría durante el zoom final y podrá acumular los puntos de la barra.

Mientras que si elige "No", solo recibirá 1 punto y disminuirán las probabilidades de encontrarse con colaboradores de esa categoría en el zoom final.

En la siguiente pantalla (fig. 1. C), los participantes ven la calificación que el colaborador les otorgó por su presentación oral en el audio grabado en la primera instancia de la sesión experimental.

Cuestionarios

Una vez finalizada la tarea, los participantes regresaban a una sala contigua al resonador para completar una serie de cuestionarios sobre las emociones experimentadas durante la actividad.

Se les solicitaba que calificaran la intensidad con la que habían experimentado diversas emociones al enfrentarse a las diferentes situaciones presentadas durante la tarea, utilizando una escala Likert de 0 a 8. Este estudio se centraba específicamente en las emociones reportadas durante la toma de decisiones. En particular, se les preguntaba cuánta felicidad, alivio, nerviosismo, decepción, enojo, tristeza, vergüenza y rechazo habían sentido al momento de decidir si incluir o no a un evaluador en el zoom final.

Para evaluar si los participantes creían en la historia encubierta, se les preguntaba cuán nerviosos estaban al saber que debían realizar una presentación final.

Al concluir esta breve entrevista, se les revelaba que tanto las notas como los evaluadores eran ficticios y que la instancia de zoom no se llevaría a cabo. Todos los participantes indicaron haber creído que la interacción era genuina y no manifestaron desagrado al enterarse de la historia encubierta.

Parámetros del escáner:

Para la señal dependiente del nivel de oxígeno en sangre (BOLD), se obtuvieron imágenes eco-planares ponderadas T2* en el resonador de 3T, GE Discovery 750W de 24 canales, que se encuentra en el CUDIM. Para cada volumen, se adquirieron un total de 37

cortes secuenciales de espesor 3,5 mm y un interespacio de 0,5 mm. Los volúmenes se adquirieron con un tiempo de repetición (TR) de 2,5 segundos, tiempo de eco (TE) de 30 milisegundos, ángulo de báscula de 90°, campo de visión (CdV) de 224 mm y matriz de 64*64. Para cada sesión se obtuvieron 321 imágenes, de las cuales se descartaron las primeras cuatro para evitar efectos transitorios del escáner.

Metodología de análisis comportamentales y emocionales

Para los análisis estadísticos, comportamentales y emocionales se utilizó la versión de RStudio 4.1.2 (“Bird Hippie”, RStudio, 2021).

Los análisis se realizaron utilizando modelos lineales mixtos. Para cada emoción del reporte realizado por las participantes en respuesta a la toma de decisiones se realizó un modelo lineal con la intensidad reportada como variable dependiente continua y la categoría de estrellas como la variable independiente de efectos fijos. La variable sujeto fue ingresada como efecto aleatorio.

La toma de decisiones fue analizada utilizando modelos lineales generalizados mixtos (GLMM). Para realizar este modelo, se tomaron la cantidad de respuestas de las participantes como variable dependiente binaria (esto se realizó para la opción “Sí” y para la opción “No”); las variables independientes: categoría de estrellas, y pago ofrecido como efectos fijos. La variable sujeto fue ingresada como efecto aleatorio. Se exploraron todos los efectos principales y las interacciones. Ambos modelos realizados fueron sujetos a pruebas Wald χ^2 (similares a ANOVA). Cuando debieron realizarse pruebas pareadas, se aplicó la corrección de Tukey.

Metodología de análisis imagenológicos

Los análisis imagenológicos se realizaron utilizando MATLAB R2018a, y el paquete de Análisis Statistical Parametric Mapping 12 en su versión 7771 (SPM12, 2020).

Para realizar el análisis imagenológico, se llevó a cabo un pre-procesamiento. En el mismo, las imágenes obtenidas en el escáner fueron re-alineadas con el objetivo de corregir posibles distorsiones ocasionadas por los movimientos de cabeza de los participantes. Para esto, todas las imágenes de las participantes fueron re-alineadas a la primera imagen de la primera sesión de cada participante. Luego del re- alineamiento, todas las imágenes fueron co-registradas a la imagen anatómica de cada participante correspondiente y luego la imagen anatómica fue segmentada. Una vez realizado esto, las imágenes fueron normalizadas a un espacio estándar, utilizando un molde de cerebro estándar del Instituto Neurológico de Montreal (MNI) que se encuentra disponible en SPM12.

Para finalizar, las imágenes funcionales fueron suavizadas usando un “Full- Width-Half-Maximum Gaussian Kernel” de 8 mm.

Para realizar el análisis de primer nivel se realizó un análisis relacionado a eventos (event-related design). Con este análisis se buscó modelar la actividad neural de las personas, en los momentos de la toma de decisiones. Para ello, la activación al momento de tomar la decisión se modeló con un regresor con los tiempos en los que se presentaba la opción de decidir por sí o por no.

También, se agregaron como variables de no interés seis regresores correspondientes a estimaciones de parámetros relacionados al movimiento de la cabeza, obtenidos durante la etapa de realineamiento.

Luego de realizar el análisis de primer nivel, los contrastes de interés fueron llevados a un análisis de segundo nivel. En este análisis de segundo nivel se investigó qué regiones cerebrales variaban su activación frente a la categoría de los evaluadores.

Resultados toma de decisiones

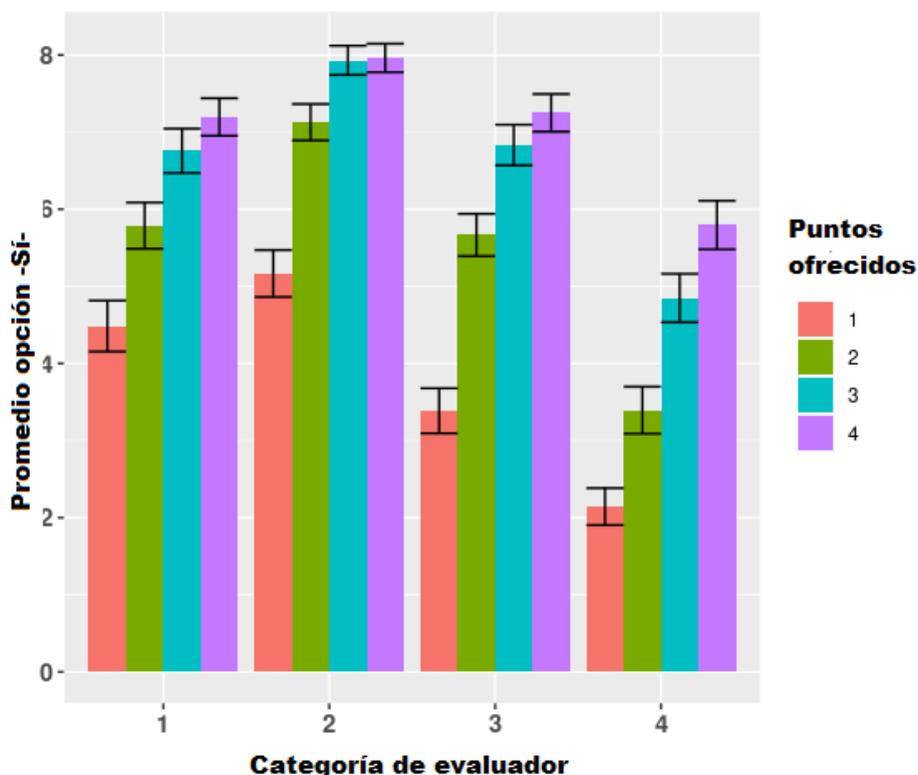


Fig.2 Número de veces que los participantes eligen la opción -Sí- por categoría de evaluador, según cuántos eran los puntos ofrecidos en esa ronda.

Se observó un efecto principal del valor de la recompensa ($\chi^2(3)=302.43$ $p < 0.001$) frente a la toma de decisiones. Se vio que a medida que aumentaba la recompensa los participantes eligieron más la opción de aceptar al evaluador. Específicamente con una recompensa de valor 2 se acepta el evaluador más veces que con una recompensa de valor 1 ($p < 0.001$); con una recompensa de valor 3 se acepta el evaluador más veces que con una recompensa de valor 2 ($p < 0.001$); con una recompensa de valor 4 se acepta el evaluador más veces que con una recompensa de valor 3 ($p < 0.001$).

Se observó un efecto principal con la categoría del colaborador ($\chi^2(3)= 330.09$ $p < 0.001$)

Se observa que al evaluador 2 se lo acepta más que a los otros evaluadores con ($p < 0.001$).

Por otra parte, se observó que al evaluador 1 se lo acepta más que al evaluador 3 con ($p < 0.05$)

y al evaluador 3 se lo acepta más que al evaluador 4 ($p < 0.001$)

Se vio una interacción significativa entre el valor de la recompensa y la categoría de colaborador ($\chi^2(9)= 48.698$ $p < 0.001$). Esta interacción se debe fundamentalmente a que en el caso del colaborador 2 no hay diferencia en la toma de decisiones según que la recompensa valga 3 o 4 ($p = 0.987$), mientras que en el caso de los otros colaboradores si se diferencia la toma de decisiones para cada uno de los valores de los pagos ($p < 0.01$).

Resultados emocionales

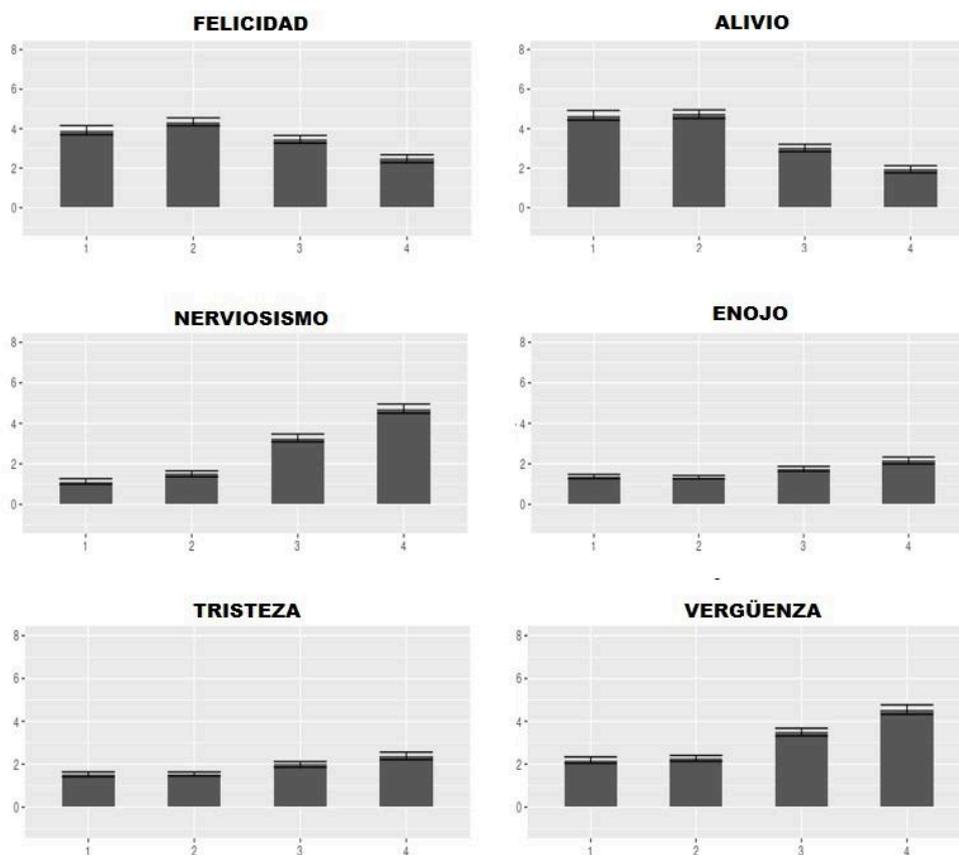


Figura 3. Gráficos que muestran los reportes emocionales de los participantes al decidir si incluir o no en el zoom final a diferentes categorías de evaluadores. Las emociones se midieron en una escala Likert de 0 a 8, donde 8 corresponde a la mayor intensidad emocional. Las cuatro categorías de evaluadores se presentan en el eje horizontal. Las barras indican el desvío estándar.

Felicidad

Se encontró un efecto de la categoría de colaborador para la emoción de felicidad ($F=21.81$ $p < 0.001$), reportando menor felicidad ante la opción de ser evaluados por colaboradores de 4 estrellas respecto a las otras categorías ($p < 0.001$).

Tristeza

Se encontró un efecto de la categoría de colaborador para la emoción de tristeza ($F=19.83$ $p < 0.001$), reportando mayor tristeza ante la opción de ser evaluados por colaboradores 3 y 4 de estrellas, respecto a los colaboradores de menor categoría (1 y 2) con ($p < 0.001$).

Alivio

Se encontró un efecto de la categoría de colaborador para la emoción de alivio ($F=60.91$ $p < 0.001$), reportándose mayor alivio ante la opción de ser evaluados por colaboradores de categorías bajas (1 y 2 estrellas) respecto a las categorías bajas (3 y 4 estrellas) ($p < 0.001$).

Nerviosismo

Se encontró un efecto de la categoría de colaborador para la emoción de nerviosismo ($F=183.78$ $p < 0.001$), reportándose mayor nerviosismo ante la opción de ser evaluados por colaboradores de categorías altas (3 y 4 estrellas), respecto a los colaboradores de menor categoría (1 y 2) ($p < 0.001$).

Vergüenza

Se vio un efecto de la categoría de colaborador para la emoción vergüenza ($F=98.31$ $p < 0.001$), reportándose mayor vergüenza ante la opción de ser evaluados por colaboradores de categorías altas (3 y 4 estrellas), respecto a los colaboradores de menor categoría (1 y 2) ($p < 0.001$).

Enojo

Se vio un efecto de la categoría de colaborador para la emoción enojo ($F=19.31$ $p < 0.001$), reportándose mayor enojo ante la opción de ser evaluados por colaboradores de categoría 4 estrellas respecto a los colaboradores de menor categoría (1 y 2) ($p < 0.001$).

Resultados imagenológicos

Mediante un análisis paramétrico, se observó que tanto la corteza prefrontal medial (mPFC) como la ínsula (derecha e izquierda) aumentaron su actividad cuando la categoría del evaluador iba aumentando

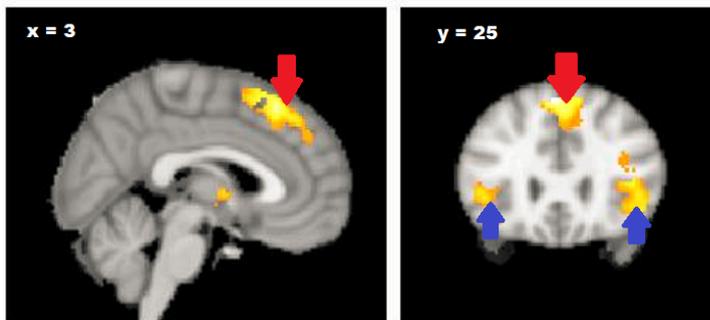


Figura 4 Regiones que aumentaron su activación a medida que la categoría del evaluador aumentaba. Con flecha roja se señala corteza prefrontal medial (mPFC), con flecha azul se señala ínsula derecha e izquierda. Se estableció un umbral de $p < 0.05$ de cluster a nivel de todo el cerebro, para esto se estableció la exigencia conjunta de un $p < 0.01$ a nivel de vóxel y un tamaño de cluster de 166 voxels continuos.

Discusión

En el marco de esta tesis, se examinó cómo varían las respuestas comportamentales, emocionales y neurales ante una situación que implica un conflicto de acercamiento/evitación en un contexto social.

Se observó un efecto principal del valor de la recompensa: cuanto mayor eran los puntos de recompensa ofrecidos más aceptaban los evaluadores. Esto sugiere que reconocían la opción más ventajosa —aquella que les permitía obtener más puntos— y, en consecuencia, priorizaban la maximización de su recompensa.

Por otra parte, los participantes tendieron a evitar a los evaluadores de mayor categoría (tres y cuatro estrellas) para reducir la exigencia en la etapa final de zoom. Este patrón de conducta coincidió con sus reportes emocionales: los evaluadores más exigentes fueron asociados con niveles más altos de emociones negativas (tristeza, nerviosismo, vergüenza y enojo) y niveles más bajos de emociones positivas (felicidad y alivio) en comparación con los de menor categoría (una y dos estrellas). Estos resultados sugieren que los participantes evaluaban la situación bajo un esquema de costo-beneficio, que responde efectivamente a un conflicto de acercamiento/evitación.

En cuanto a los hallazgos neuroimagenológicos, se observó un aumento en la activación de ambas ínsulas y de la dmPFC, regiones clave de la red de saliencia, a medida que aumentaba la exigencia del evaluador. Esta red se activa en la evaluación de implicaciones emocionales y sociales (Menon, 2010; Uddin, 2014), lo que podría influir en la decisión de acercarse o evitar a evaluadores exigentes.

La ínsula desempeña un papel fundamental en la evaluación del riesgo social y emocional asociado con la toma de decisiones. Estudios previos han demostrado su activación en escenarios que implican decisiones sociales difíciles (Kross et al., 2007), lo que concuerda con los patrones observados en este estudio. Es probable que la ínsula esté procesando el conflicto entre el riesgo emocional de enfrentarse a un evaluador exigente y la oportunidad de obtener una mayor recompensa.

Por su parte, la mPFC mostró activación, en línea con su papel en la evaluación de estímulos socialmente relevantes. Esta región se involucra en la toma de decisiones orientadas a maximizar beneficios (acumulación de puntos) y minimizar riesgos en contextos sociales (exposición a evaluadores de categoría alta) (Amodio y Frith, 2006; Rushworth y Behrens, 2008)

Finalmente, la activación de la red de saliencia se alinea con su implicación en situaciones que requieren un esfuerzo cognitivo adicional o la inhibición de respuestas automáticas (Touroutoglou et al., 2020). En este estudio, la opción más automática consistía en elegir evaluadores de menor categoría, pues estas opciones eran menos demandantes independientemente de la recompensa. En contraste, seleccionar evaluadores más exigentes requería una toma de decisiones menos automática, lo que explicaría la mayor activación de esta red.

Limitaciones y perspectivas a futuro

Las personas participantes tenían entre 18 y 30 años de edad, y todas eran estudiantes o egresadas de carreras terciarias. Por lo tanto, los resultados de este estudio no pueden considerarse representativos ni extrapolables a otras poblaciones. Asimismo, los reportes emocionales fueron obtenidos mediante autoinforme una vez finalizada la sesión de resonancia, lo que implicó que las personas debieran recordar las emociones experimentadas durante la tarea. Esta modalidad de registro depende de la capacidad individual para recordar con precisión los estados emocionales vivenciados, lo cual puede introducir una fuente adicional de variabilidad en los datos.

Una posible línea de investigación futura consiste en examinar el papel de los síntomas depresivos en la activación cerebral durante situaciones de conflicto de acercamiento-evitación. El equipo de investigación se encuentra trabajando en esta dirección. Por ejemplo, podría investigarse si los síntomas depresivos modulan la respuesta cerebral cuando los participantes enfrentan evaluadores de categorías más altas, situación que implica una mayor amenaza. Por otra parte, una ampliación en el número de participantes podría aumentar la sensibilidad para detectar posibles efectos sutiles asociados a los síntomas depresivos.

Conclusiones

Los resultados presentados en este trabajo indican que la implementación de nuestra tarea interactiva, combinada con fMRI, es un medio efectivo para investigar la toma de decisiones a nivel social en un conflicto de acercamiento-evitación. Se espera que esta metodología sea útil para el estudio de la toma de decisiones y bases neurales de problemáticas de la salud mental como la depresión y la ansiedad social.

Bibliografía

Amodio, D. M., & Frith, C. D. (2016). (2006) Meeting of minds: the medial frontal cortex and social cognition. *Discovering the social mind*, 183–207.

Armony, J. L., Trejo-Martínez, D., & Hernández, D. (2012). Resonancia magnética funcional (RMf): Principios y aplicaciones en neuropsicología y neurociencias cognitivas. *Neuropsicología Latinoamericana*, 4(2).

Bartelle, B. B., Barandov, A., & Jasanoff, A. (2016). Molecular fMRI. *Journal of Neuroscience*, 36(15), 4139-4148.

Cabezas-Heredia, E. B. C., Chávez, R. H., Ortiz, P. S. R., & Yahuarshungo, C. N. (2021). *Depresión, Ansiedad, estrés en estudiantes y docentes: Análisis a partir del Covid-19*. *Revista Venezolana de Gerencia: RVG*, 26(94), 603–622.

Chand, G. B., & Dhamala, M. (2016). The salience network dynamics in perceptual decision-making. *NeuroImage*, 134, 85–93.

Durán, P. S. (2022). Alteración de la red de saliencia en el trastorno por estrés postraumático. Una revisión sistemática. *Revista Iberoamericana de Neuropsicología*, 5(1), 30.

Fernández-Theoduloz, G., Paz, V., Nicolaisen-Sobesky, E., Pérez, A., Buunk, A. P., Cabana, Á., & Gradin, V. B. (2019). Social avoidance in depression: A study using a social decision-making task. *Journal of abnormal psychology*, 128(3), 234.

Gradin, V. B., Pérez, A., MacFarlane, J. A., Cavin, I., Waiter, G., Engelmann, J., ... & Steele, J. D. (2015). Abnormal brain responses to social fairness in depression: an fMRI study using the Ultimatum Game. *Psychological Medicine*, 45(6), 1241–1251.

Global Burden of Disease Collaborative Network. (2018). *Global Burden of Disease Study 2017 (GBD 2017) Results*. Institute for Health Metrics and Evaluation.

Gradin, V. B., Pérez, A., Macfarlane, J. A., Cavin, I., Waiter, G., Tone, E. B., ... & Steele, J. D. (2016). Neural correlates of social exchanges during the Prisoner's Dilemma game in depression. *Psychological Medicine*, 46(6), 1289–1300.

Heredia, E. B. C., Chávez, R. H., Ortiz, P. S. R., & Yahuarshungo, C. N. (2021). Depresión, Ansiedad, estrés en estudiantes y docentes: Análisis a partir del Covid 19. *Revista Venezolana de Gerencia: RVG*, 26(94), 603–622.

- Hidaka, B. (2012). Depression as a disease of modernity: explanations for increasing prevalence. *Journal of Affective Disorders*, *140*, 205–214. <https://doi.org/10.1016/j.jad.2011.12.036>
- Hirschfeld, R. M., Montgomery, S. A., Keller, M. B., Kasper, S., Schatzberg, A. F., Hans-Jurgen, M., ... & Versiani, M. (2000). Social functioning in depression: a review. *Journal of Clinical Psychiatry*, *61*(4), 268–275.
- Jordan, T., & Dhamala, M. (2023). Enhanced dorsal attention network to salience network interaction in video gamers during sensorimotor decision-making tasks. *Brain Connectivity*, *13*(2), 97–106.
- Kessler, R. C., & Bromet, E. J. (2013). The epidemiology of depression across cultures. *Annual Review of Public Health*, *34*(1), 119–138.
- Kirlic, N., Young, J., & Aupperle, R. (2017). Animal to human translational paradigms relevant for approach avoidance conflict decision making. *Behaviour Research and Therapy*, *96*, 14–29. <https://doi.org/10.1016/j.brat.2017.04.010>
- Kirlic, N., Young, J., & Aupperle, R. (2017). Animal to Human Translational Paradigms Relevant for Approach Avoidance Conflict Decision Making. *Physiology & Behavior*, *176*(5), 139–148. <https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2017.03.040>
- Kumar, V., Bhat, Z. A., & Kumar, D. (2013). Animal models of anxiety: a comprehensive review. *Journal of Pharmacological and Toxicological Methods*, *68*(2), 175–183.
- Kupferberg, A., Bicks, L., & Hasler, G. (2016). Social functioning in major depressive disorder. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, *69*, 313–332.
- Leskinen, S., Singha, S., Mehta, N. H., Quelle, M., Shah, H. A., & D'Amico, R. S. (2024). Applications of functional magnetic resonance imaging to the study of functional connectivity and activation in neurological disease: A scoping review of the literature. *World Neurosurgery*, *189*, 185–192.
- Menon, V., & Uddin, L. Q. (2010). Saliency, switching, attention and control: a network model of insula function. *Brain Structure and Function*, *214*, 655–667.
- Millan, M. J., & Brocco, M. (2003). The Vogel conflict test: procedural aspects, γ -aminobutyric acid, glutamate and monoamines. *European Journal of Pharmacology*, *463*(1–3), 67–96.
- Moughrabi, N., Botsford, C., Gruichich, T. S., Azar, A., Heilicher, M., Hiser, J., ... & Cisler, J. M. (2022). Large-scale neural network computations and multivariate representations during approach-avoidance conflict decision-making. *NeuroImage*, *264*, 119709.
- Papakostas, G. I., Petersen, T., Mahal, Y., Mischoulon, D., Nierenberg, A. A., & Fava, M. (2004). Quality of life assessments in major depressive disorder: a review of the literature. *General Hospital Psychiatry*, *26*(1), 13–17.

Rushworth, M. F. S., & Behrens, T. E. J. (2008). Choice, uncertainty and value in prefrontal and cingulate cortex. *Nature Neuroscience*, *11*, 389–397.

Touroutoglou, A., Andreano, J. M., Adebayo, M., Lyons, S., & Barrett, L. F. (2019). Motivation in the service of allostasis: The role of anterior mid-cingulate cortex. In *Advances in Motivation Science* (Vol. 6, pp. 1–25). Elsevier.

Uriarte-Gaspari, L., Acuña, A., Morales, S., Fernández-Theoduloz, G., Paz, V., Pérez, A., ... & Gradin, V. B. (2022). Who do I want in my team: social avoidance of high qualified partners in depression and social anxiety. *Journal of Affective Disorders Reports*, *10*, 100402.

Van der Wurff, F. B., Beekman, A. T. F., Dijkshoorn, H., Spijker, J. A., Smits, C. H. M., Stek, M. L., & Verhoeff, A. (2004). Prevalence and risk-factors for depression in elderly Turkish and Moroccan migrants in the Netherlands. *Journal of Affective Disorders*, *83*(1), 33–41.

World Health Organization: WHO & World Health Organization: WHO. (2023, 31 marzo). *Depresión*. <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/depression#>

Woody, M. L., & Gibb, B. E. (2015). Integrating NIMH research domain criteria (RDoC) into depression research. *Current opinion in psychology*, *4*, 6-12.