

Neuronas espejo y empatía: un estudio de resonancia magnética funcional.

Autora: Nicole Privato

Trabajo de Fin de Grado de Psicología

Facultad de Psicología y Logopedia

Universidad de La Laguna

Tutorizado por María de África Borges del Rosal

Cotutor: Julio Manuel Plata Bello

Curso: 2021-2022

RESUMEN

Las neuronas espejo son un conjunto de neuronas que se activan no solo cuando una persona lleva a cabo una acción sino también al observar a los demás actuando de la misma forma. Así, ofertaron una base neuronal para varios mecanismos humanos, entre ellos, la empatía. Actualmente, se desconoce a ciencia cierta la base neuronal de la empatía, existiendo varias teorías al respecto. En el presente estudio se investiga sobre la posible relación entre las neuronas espejo y la empatía gracias a un experimento diseñado para captar la activación cerebral al observar a una persona expresando tener, o no, dolor físico. Para ello, se implementa en primer lugar, un análisis *t de Student* para analizar la diferencia entre la activación al observar imagen con o sin dolor y, en segundo lugar, una regresión múltiple para estudiar la relación con los niveles de empatía obtenidos en el cuestionario IRI. Los resultados parecen confirmar una cierta relación entre la empatía y las neuronas espejo, registrando una activación mayor en aquellas áreas relacionadas con esas neuronas y correlacionando positivamente con valores más altos en empatía.

Palabras clave: Neuronas Espejo, Empatía, RMNf, dolor.

ABSTRACT

Mirror neurons are a set of neurons that are activated not only when a person performs an action but also when observing others acting in the same way. Thus, they provide a neural basis for several human mechanisms, including empathy. Currently, the neural basis of empathy is not known for certain, and there are several theories. The present study investigates the possible relationship between mirror neurons and empathy by means of an experiment designed to capture brain activation when observing a person expressing physical pain or not expressing it. For this purpose, first, a *t Student* analysis is implemented to analyze the difference between activation when observing an image with or without pain and, second, a multiple regression to study the relationship with the levels of empathy obtained in the IRI questionnaire. The results appear to confirm a certain relationship between empathy and mirror neurons, registering a higher activation in those areas related to these neurons and correlating positively with higher empathy values.

Keywords: Mirror Neurons, Empathy, fMRI, Pain.

INTRODUCCIÓN

En 1992 Giacomo Rizzolatti y su equipo de investigadores identificaron por primera vez un conjunto de células cerebrales mientras llevaban a cabo experimentos conductuales en macacos nemestrina (di Pellegrino et al., 1992) y que, sucesivamente se nombraron Neuronas Espejo (Gallese et al., 1996): unas neuronas que se activaban tanto si el mono agarraba un cacahuete como si observaba pasivamente a alguien hacerlo (Gallese et al., 1996). Este descubrimiento ha sido muy importante en el ámbito de la neurociencia, dado que ofreció, por primera vez, la base neuronal capaz de explicar la capacidad de mapear la observación de un acto motor y la ejecución de este (Gallese, 2011).

En los humanos ese conjunto de neuronas está presente en diferentes regiones cerebrales. Mientras Rizzolatti y su equipo estudiaron las neuronas espejo presentes en el área motora F5 (Rizzolatti et al., 1996) otros investigadores identificaron las siguientes regiones: (a) región frontal inferior (Decety et al., 1997), asociada a la capacidad de imitación (Binder et al., 2017) y, sobretodo el área de Broca, se relaciona con los movimientos de la articulación del habla (Shammi y Stuss, 1999); (b) córtex motor primario (Dushanova y Donoghue, 2010; Tkach et al., 2007); (c) región dorsal del córtex premotor (Tkach et al., 2007); y (d) región temporal superior y en el lóbulo parietal inferior (Grafton et al., 1996).

A partir de su descubrimiento, las neuronas espejo se han asociado a diferentes funciones psicológicas, la gran mayoría sociales, típicas de los seres humanos. Una de ellas es la capacidad de entender la acción de los demás (Rizzolatti et al., 1996). El reconocimiento de la acción del otro depende de la interacción entre el *input* visual y la experiencia en primera persona de cada uno (Gallese et al., 1996; Rizzolatti et al., 1996). El mecanismo neuronal que subyace reside en la comparación de un *input* visual con un patrón de conducta derivado de la experiencia en primera persona (Gallese y Sinigaglia, 2011). Apoyándose en el mismo concepto, Iacoboni et al. (2005) propuso a las neuronas espejo como la base neuronal de la capacidad de prever la intención y el objetivo de la acción del prójimo. Ese mismo autor explica que, tanto los seres humanos como los animales, tenemos patrones motores dictados por la experiencia. Es el caso

de la activación de aquellas regiones relacionadas con la alimentación en el momento en que simplemente se observa una fruta (Iacoboni, 2009). Esos mismos patrones son los que permiten entender la intencionalidad en el otro.

Otra función social asociada a las neuronas espejo es la de la teoría de la mente, o sea, la capacidad de atribuir estados mentales y emocionales a los demás (Gallese y Goldman, 1998). Para crear una inferencia de los estados emocionales del otro, se necesita observar tanto los movimientos como las expresiones faciales, pero lo más importante es el proceso de toma de perspectiva (Frith y Frith, 2006). Para ello, es fundamental la empatía.

La empatía es la capacidad de conectar emocionalmente con el otro, sin la necesidad de vivir la misma situación (Decety et al., 2016). Es una habilidad social muy compleja que a través de los años se ha definido de diferentes maneras. En primer lugar, se ha considerado que forma parte de la habilidad de los humanos de “leer la mente del otro” (Ickes y Simpson, 1997). Según los autores que apoyan esa teoría, se comprueba que existe empatía cuando una persona entiende que otra está sintiendo una emoción, sin importar lo que conoce, o no, sobre la situación o sobre la persona misma. Es la tendencia de las personas a adoptar los mismos comportamientos de la persona que están observando, en el momento en que esta está probando una emoción específica (de Vignemont y Singer, 2006); se pueden señalar los siguientes ejemplos: (a) el caso de los bebés que lloran porque otro bebe cercano está llorando y (b) la risa que se transmite de una persona a otra. Otros autores, identifican cualquier acción compasiva como “empatía”, definiéndolo como, empatía afectiva, referido a la respuesta emocional de las personas frente los estados emocionales de otros (Shamay-Tsoory et al., 2009); o, también, la capacidad inmediata que permite conectar con lo que están sintiendo los demás (Decety et al., 2004). Finalmente, otros autores consideran la empatía como un modelo dual (Keysers y Gazzola, 2007; Singer, 2006), donde, por una parte, se destaca su parte afectiva, caracterizada por su desarrollo temprano en humanos, es automática y se encuentra en otras especies. Por otra, la parte cognitiva, formada por procesos mas complejos, con un desarrollo más tardío y no compartida por otras especies, dado que está relacionada con la intencionalidad y la teoría de la mente, habilidades propiamente humanas (Heyes, 2018). Análogamente, la empatía incluye la capacidad de entender los pensamientos y los sentimientos

del otro, la habilidad de vivirlos en primera persona y la capacidad de responder de manera cónsona y prosocial (Dvash y Shamay-Tsoory, 2014). Así, está claro que la empatía juega un papel central en las interacciones sociales. Por ejemplo, se cree que es la razón por la cual el ser humano no hace daño a otros: estudios llevados a cabo con participantes psicópatas, personas con deficiencias importantes en empatía, muestran que, esas personas, han hecho daño a otros y no muestran signos de remordimientos (Blair, 2013). Además, la empatía juega un papel fundamental en la evolución de la especie humana: es importante en la creación de vínculos madre-hijos, en la instauración y mantenimiento de relaciones sociales, tiene un papel importante en la reproducción y en la relación de pareja y, finalmente, en la creación de comunidades (Decety et al., 2012) Además, adoptar la perspectiva de otro, activa las mismas respuestas afectivas en las personas (Jackson et al., 2005; Lamm et al., 2007) y promueve el comportamiento prosocial (Hein et al., 2010).

Todavía no se ha identificado el funcionamiento neuronal que está detrás de la empatía, dado que no se consigue delinear una región específica que cumpla con esa función. Así, los estudiosos suelen hablar de una red neuronal de sistemas interconectados entre ellos. El modelo de Percepción-Acción (Preston y de Waal, 2002) ofrece una teoría de la simulación para la empatía. Según esa teoría, el ser humano es capaz de probar empatía porque, al observar lo que le está ocurriendo al otro, se activan en el cerebro propio aquellas regiones que se activarían si él mismo estuviera viviendo esa situación. Como se ha descrito anteriormente, ese es el funcionamiento principal de las neuronas espejo.

La hipótesis principal que relaciona a las neuronas espejo con la empatía se basa en la capacidad de representar en primera persona lo que se está viendo hacer por otro, y eso permite comprender y compartir qué está probando (Decety y Jackson, 2004; Gallese, 2003). Hay varios estudios que corroboran esa hipótesis. En primer lugar, se ha demostrado que la observación de otros haciendo una expresión facial definida hace que se activen los mismos músculos faciales en el observador (Dimberg et al., 2000). Otros estudios, llevados a cabo con muestras de personas con autismo, demuestran una relación entre las neuronas espejo y la empatía. Se ha demostrado que este colectivo muestra importantes deficiencias en el sistema espejo, existiendo una relación entre la

gravedad de autismo y un menor funcionamiento de las regiones con presencia de neuronas espejo (Dapretto et al., 2006). Asimismo, normalmente esas personas no muestran las reacciones esperadas al observar el sufrimiento del otro (Minio-Paluello et al., 2009). Otro estudio que relaciona la empatía y las neuronas espejo es el llevado a cabo por Pfeiffer et al. (2008) donde, por medio de resonancia magnética y la implementación del cuestionario IRI, se encuentra una relación directamente proporcional entre los grados de empatía y la activación cerebral en las regiones espejo de un grupo de preadolescentes tanto en la observación de imágenes emotivas como en la capacidad de detectar las emociones de los demás solo observando estas imágenes.

Dado que la respuesta neuronal y la empática se ven afectadas por información cognitiva (Lamm et al., 2007), emocional y social (de Vignemont y Singer, 2006), la empatía y las neuronas espejo a menudo se han estudiado en su relación con el dolor. Se ha demostrado que al observar a una persona mientras su mano se aplasta en una puerta o sufre un corte en un dedo (Jackson et al., 2005), o mientras se observa a otra persona recibir una inyección en una mano o someterse a acupuntura (Avenanti et al., 2005; Cheng et al., 2007; Lamm et al., 2007), se activan en el observador las regiones relacionadas con esa vivencia en primera persona. Además, se ha demostrado que la inhibición del propio dolor por medio farmacológico disminuye la capacidad empática hacia el dolor de los demás (Mischkowski et al., 2016), por lo que se demuestra que la experiencia en primera persona y el dolor de otro están relacionados. Además, Krishnan et al. (2016) hablan sobre la necesidad de que existan unas áreas específicas para la empatía. En sus estudios han relevado una activación en las áreas somatosensoriales (con presencia de neuronas espejo) y en áreas relacionadas con la teoría de la mente (neuronas espejo) en ambos dolores vicario y en primera persona. Para apoyar esa teoría, también hay estudios llevados a cabo con personas con autismo, porque muestran una disociación importante entre el dolor vicario y el dolor en primera persona (Chen et al., 2017).

Como exponen Bekkali et al. (2021), la relación entre las neuronas espejo y la empatía todavía no está del todo clara y se explica mayormente por modelos teóricos. De ahí la necesidad de llevar a cabo un estudio cuyos objetivos principales sean estudiar la relación entre los niveles de empatía de las personas y sus respuestas cerebrales ante la observación de otros sufriendo dolor físico.

Para ello, el estudio se basa en dos hipótesis. Por una parte, se hipotetiza que existe diferencia en las activaciones cerebrales en aquellas áreas relacionadas con las neuronas espejo al observar a alguien sufriendo, o no, dolor físico, siendo mayor la activación durante la observación de dolor; y, por otra parte, que existe relación positiva entre los niveles de empatía y esas activaciones cerebrales detectadas al observar imágenes representando dolor.

MÉTODO

Metodología y diseño.

La metodología usada ha sido mixta, ya que, por una parte, sigue una metodología experimental con diseño de medidas repetidas para el estudio de la diferencia entre la activación cerebral al observar una imagen que representa una persona con dolor y la activación al observar una imagen de la misma persona sin dolor. Y, por otra, una metodología de encuesta con diseño transversal para el análisis de la relación entre la activación cerebral anteriormente nombrada y los niveles de empatía estudiados con el cuestionario IRI.

Participantes.

La muestra de esta investigación consiste en veinte jóvenes adultos sanos, con edades comprendidas entre 20 y 28 años (edad media de 23 años; DT=2,455), diez mujeres (M=21,5 años, DT=2,078) y diez hombres (M=23,5 años, DT=2,440). El procedimiento de selección de la muestra ha sido de conveniencia y los participantes son estudiantes universitarios con la excepción de uno. Se ha contactado con ellos a través de un mensaje enviado a varios grupos universitarios que pedía la participación voluntaria a un experimento de resonancia magnética. A los interesados se les preguntaba sobre su estado de salud general, con el fin de excluir aquellos voluntarios que sufrieran de una enfermedad crónica.

Instrumentos y materiales.

Para medir los niveles de empatía se utiliza el *Interpersonal Reactivity Index* (IRI, Mestre Escrivá et al., 2004), una escala formada por un total de 28 ítems y dividida en cuatro subescalas, cada una mide una dimensión de la empatía por medio de 7 ítems. Las primeras dos subescalas miden la dimensión cognitiva de la empatía relacionada con el proceso de comprensión de las emociones del otro y son “toma de perspectiva” (TP), mide el instinto de ponernos en el lugar del otro, seguida por “fantasía” (F) que mide la propensión en verse identificados con personajes de novelas, películas, etc. Y otras dos subescalas relacionadas con la empatía emocional, o sea la respuesta emocional del individuo antes el estado emocional de otro, y son “angustia personal” (AP) que pregunta sobre los niveles de malestar que se producen mientras se observa a alguien sufriendo y finalmente, “preocupación empática” (PE) que evalúa los sentimientos de compasión, simpatía y preocupación para los demás.

El sistema de respuesta consiste en una escala Likert de cinco respuestas donde el 0 indica “poco” o “no le describe” y 4 que indica “mucho” o “le describe muy bien”. Los coeficientes de fiabilidad obtenidos con el alfa de Cronbach han sido: para PT 0,56; FS 0,70; EC 0,65 y PD 0,64.

La Resonancia Magnética (RMN) es una técnica clínica y de investigación no invasiva que permite obtener imágenes anatómicas detalladas del interior del cuerpo humano. Para ello, utiliza ondas radio que atraviesan el cuerpo mientras, a su vez, está sometido a un campo magnético, estos dos elementos modifican la posición de los núcleos de hidrogeno presentes en el cuerpo humano y, eso, se puede procesar en forma de imagen por un ordenador. Así, la RMN permite obtener imágenes detalladas del interior sin necesariamente aportar modificaciones a las estructuras.

Se define Resonancia Magnética Funcional (RMNf) a la misma técnica si utilizada para estudiar la activación de las áreas cerebrales mientras el participante está realizando una tarea que, en el caso de la presente investigación, consiste en observar imágenes de personas con o sin dolor.

La máquina de resonancia magnética funcional está conectada a un ordenador que controla el técnico/a de la resonancia, que recibe las señales y las transforma en imágenes. De otro lado, las gafas que llevan puestas los participantes se conectan a otro ordenador, desde el cual se puede controlar cuando se transmite el vídeo. Las imágenes utilizadas son doce, seis representan a tres hombres y tres mujeres agarrando una parte del cuerpo diferente y mostrando expresión de dolor, y seis representando las mismas personas, pero con expresión neutra. En la tabla 1, se explican más detalladamente las imágenes utilizadas.

Tabla 1.

Descripción de las imágenes utilizadas en la Resonancia Magnética Funcional.

	Sexo	Parte del cuerpo
1	Hombre	Abdomen
2	Mujer	Cuello
3	Hombre	Espalda
4	Mujer	Hombro
5	Hombre	Rodilla
6	Mujer	Cabeza

Procedimiento.

El presente estudio fue aprobado por el comité de ética de la Universidad de la Laguna, siguiendo la declaración de Helsinki. En primer lugar, los participantes firmaron dos consentimientos informados, uno sobre la ley de protección de datos y donde aceptaron presentarse de forma voluntaria al experimento (R.07/PO-SRMIB) y, el segundo, sobre las normas del Hospital Universitario de Canarias (HUC) con respecto a la enfermedad COVID-19 (R.11/PO-SRMIB). En un segundo momento, completaron el cuestionario IRI. Finalmente, después de haber averiguado que no presentan ningún defecto de la vista, se les dota de unas gafas especiales equipadas de pantalla. A través del ordenador, coordinándose con el aparato de resonancia magnética, se empieza el experimento.

La duración de la resonancia magnética es aproximadamente de unos 30 minutos durante los cuales los participantes ven tres escenarios diferentes a través de la pantalla:

1. Prueba estructural: durante esa prueba no se requiere ningún tipo de tarea ni atención particular por los participantes. Tiene el objetivo de recibir información anatómica del cerebro;
2. Resting: en la pantalla se presenta una pantalla negra con una cruz blanca en el medio y se les explicó a los participantes que no deben pensar en nada observando la imagen. Detecta la actividad funcional cerebral en estado de reposo;
3. Prueba funcional: consiste en la presentación de doce imágenes, seis representando personas con expresión de dolor y seis representando las mismas personas con expresión neutra. Las imágenes aparecen en cuatro bloques de tres imágenes, que permanecen 5 segundos cada una, con el siguiente esquema: con dolor-resting-sin dolor. Los participantes tuvieron que prestar atención a la pantalla durante todo el desarrollo de la prueba.

Análisis de datos.

Las imágenes cerebrales se obtuvieron por medio de la resonancia magnética 3T General Electric (Milwaukee, WI, USA). Esas, se procesaron usando el programa "Statistical Parametric Mapping SPM12" (Wellcome Trust Centre for Neuroimaging; <http://www.fil.ion.ucl.ac.uk/spm/>). Sucesivamente, pasaron por un proceso de realineación normalizado sin modificar ninguna estructura al estándar SPM12 establecido por el Instituto Neurológico de Montreal (MNI). Las imágenes normalizadas de $2 \times 2 \times 2$ mm se suavizaron con un núcleo gaussiano de máximo (FWHM) de $8 \times 8 \times 8$ núcleos gaussianos. Para tener una referencia anatómica se obtiene una imagen 3D con los siguientes parámetros: TR = 10,4 ms, TE = 4,2 ms, ángulo de giro= 20, tamaño de la matriz = 512×512 píxeles, $0,5 \times 0,5$ mm de resolución en el plano, espesor del corte = 2 mm.

Para analizar la actividad de las neuronas espejo se seleccionaron aquellas regiones de interés, basándose en precedentes estudios que las

relacionaban con el sistema espejo y la observación de expresiones faciales de dolor. Entre ellas: el giro frontal inferior (IFG) y el lóbulo parietal (IPL) de ambos hemisferios. En primer lugar, se llevó a cabo un análisis de *t de Student* (FWE=0,05) para estudiar la diferencia entre la activación mientras se observa una imagen con o sin dolor, considerando como significativa una zona de activación de un mínimo de 20 vóxeles. Finalmente, se llevó a cabo un análisis de regresión múltiple para estudiar su relación con los niveles de empatía estudiados por el cuestionario IRI ($p < 0,001$).

RESULTADOS

Activación cerebral durante la observación de imágenes de dolor.

La observación o bien de imágenes, tanto con expresión de dolor como neutra, muestra una activación cerebral mayor en ciertas regiones de los lóbulos frontal, y parietal de ambos hemisferios.

Tabla 2.

Resultados diferencia activación cerebral observación imagen.

Región cerebral	t	Valor p corregido
Giro frontal inferior izquierdo	2,31	0,127
Lóbulo parietal inferior izquierdo	3,35	0,014
Giro supramarginal izquierdo	3,63	0,008
Giro angular izquierdo	3,94	0,004
Giro frontal inferior derecho	1,05	0,737
Lóbulo parietal inferior derecho	1,21	0,645
Giro supramarginal derecho	0,64	0,914
Giro angular derecho	0,96	0,786

Relación entre la actividad cerebral al observar imágenes con o sin dolor y puntuación obtenida en el cuestionario IRI.

Para determinar la relación entre empatía y regiones cerebrales, se han relacionado los valores obtenidos en las distintas zonas estudiadas con los factores del IRI.

Para la región frontal inferior izquierda se ha obtenido una $R^2_{ajustado} = 0,193$ ($F_{(4)}=2,134$, $p=0,127$). En la tabla 3 se representan los coeficientes de la regresión múltiple y su significación.

Tabla 3.

Coefficientes de regresión múltiple IFG izquierdo y subtest de cuestionario IRI.

	Coeficientes no ajustados		Coeficiente	t	Sig.
	β	Error Típico	ajustado β		
Constante	-,121	,384		-,316	,757
TP	-,030	,017	-,445	-1,774	,096
F	-,010	,012	-,205	-,866	,400
PE	,056	,020	,745	2,862	,012
AP	-,005	,013	-,083	-,392	,700

Para la región frontal inferior derecha se obtuvo una $R^2_{ajustado} = 0,068$ ($F_{(4)}=1,347$, $p=0,299$). Se recogen los coeficientes de la regresión múltiple y su significación en la tabla 4.

Tabla 4.*Coefficientes de regresión múltiple IFG derecho y subtest de cuestionario**IRI.*

	Coeficientes no ajustados		Coeficiente	t	Sig.
	β	Error Típico	ajustado β		
Constante	-,051	,231		-,222	,827
TP	-,013	,010	-,342	-1,271	,223
F	-,003	,007	-,098	-,386	,705
PE	,026	,012	,616	2,202	,044
AP	-,006	,008	-,182	-,801	,435

Para el lóbulo parietal izquierdo ($R^2_{ajustado} = 0,193$, $F_{(4)}=3,283$, $p=0,040$). Se recogen los coeficientes de la regresión múltiple y su significación en la tabla 5.

Tabla 5.*Coefficientes regresión múltiple IPL izquierdo y subtest de cuestionario IRI.*

	Coeficientes no ajustados		Coeficiente	t	Sig.
	β	Error Típico	ajustado β		
Constante	-,376	,338		-1,112	,284
TP	-,013	,015	-,208	-,907	,379
F	-,005	,011	-,099	-,456	,655
PE	,057	,017	,794	3,337	,005
AP	-,009	,011	-,159	-,823	,423

Finalmente, para el lóbulo parietal derecho ($R^2_{\text{ajustado}} = 0,68$ $F_{(4)}=1,131$, $\text{Sig.}=0,379$). En la tabla 6 se estudian los coeficientes de la regresión múltiple y su significación entre esta región y el cuestionario IRI.

Tabla 6.

Coefficientes de regresión múltiple IPL derecho y subtest de cuestionario IRI.

	Coeficientes no ajustados		Coeficiente	t	Sig.
	β	Error Típico	ajustado β		
Constante	-,085	,369		-,231	,820
TP	-,001	,016	-,017	-,062	,951
F	,016	,012	,352	1,353	,196
PE	,009	,019	,136	,477	,640
AP	-,012	,012	-,223	-,964	,350

DISCUSIÓN

El presente estudio tiene dos objetivos principales: en primer lugar, analizar la activación cerebral ante dolor vicario y, en segundo, estudiar la relación entre empatía y neuronas espejo.

Para responder al primer objetivo se estudió la activación cerebral de las regiones con presencia de neuronas espejo frente a la observación de imágenes, donde las personas mostraban o no dolor. Como prevé la primera hipótesis, los resultados indican que, efectivamente, hay una activación cerebral diferente en las áreas espejo frente la observación de imágenes con o sin dolor. Así, hay una activación diferencial mayor en las imágenes que muestran dolor en el lóbulo parietal izquierdo, o sea la parte del cerebro relacionada con la corteza somatosensorial que, como anteriormente quedó demostrado por Grafton (1996) tiene una gran presencia de neuronas espejo. Dentro del lóbulo parietal izquierdo se encuentra una activación significativa en el giro supramarginal y en el angular izquierdos, regiones relacionadas con la capacidad de seguir patrones motores

(Buxbaum, 2001), habilidad estrechamente relacionada con este tipo de neuronas.

Por otra parte, ninguna de las regiones seleccionadas del lóbulo frontal inferior muestra una diferencia significativa en la activación. Esas regiones estuvieron entre las primeras zonas que se relacionaron con las neuronas espejo (Decety et al., 1997), pero cabe destacar que parecen estar relacionadas con las habilidades motoras del lenguaje más que con dolor (Restle et al., 2012). Por tanto, el presente estudio conlleva importantes hallazgos sobre la activación de las neuronas espejo frente al dolor vicario, sin embargo, es preciso más investigación para delimitar de una forma adecuada las zonas implicadas en este proceso.

Para el segundo objetivo del estudio se analizó la relación entre la activación obtenida frente a la observación de las imágenes y los niveles de empatía de los participantes seleccionados, obtenidos por la aplicación del cuestionario IRI. Los resultados del presente estudio muestran una relación positiva entre la subescala PE, encargada de medir la parte emocional de la empatía relacionada con el sentimiento de compasión y simpatía para el sufrimiento de los demás, y tres de las cuatro regiones de interés. Esas regiones son: a) IPL izquierdo, este resultado se apoya en estudios como el de Krishnan et al. (2016) que relacionan esa región con el procesamiento del dolor vicario y b) ambos IFG derecho e izquierdo, esto apoya lo que se ha demostrado anteriormente en la literatura, o sea que, estas regiones, no solo están relacionadas con la habilidad de reconocer las emociones de los demás (Carr et al., 2003) sino que lo están también con la empatía emocional (Jabbi et al., 2007; Schulte-Ruther et al., 2007).

En cambio, dado el actual debate sobre la posible lateralización izquierda de las neuronas espejo, cabe destacar la falta de relación significativa entre el IPL derecho y los niveles de empatía. Así, mientras que, por una parte, estudios como el de Errante y Fogassi (2021) apoyan la hipótesis de la bilateralidad de estas neuronas. Por otra, hay investigaciones, en su mayoría sobre lesiones en el IPL izquierdo, que apoyan la hipótesis de que exista una dominancia de este hemisferio (Leiguarda y Marsden, 2000; Goldenberg, 2009). Si bien los resultados del presente estudio apoyan esta última hipótesis, es preciso seguir

investigando para determinar con mayor precisión la posible lateralización izquierda del sistema espejo y, así, delimitar las áreas implicadas.

Asimismo, es fundamental seguir estudiando el funcionamiento de las neuronas espejo y su relación con la empatía, dado que, como confirma Bekkali et al. (2021), todavía se trata de un modelo teórico que necesita de investigación para poderse concretar. Con el presente estudio se confirma que ese tipo de neuronas tienen un papel importante en la observación del dolor vicario y, al mismo tiempo, su mayor funcionamiento está presente en aquellas personas que presentan mayores niveles de empatía.

En conclusión, el presente estudio aporta no solo datos útiles al debate sobre la relación entre neuronas espejo, dolor vicario y empatía, sino que también proporciona una herramienta de investigación para poder estudiar esos conceptos en diferentes colectivos. Así, este experimento se puede replicar con muestras de colectivos específicos, estudiando una posible diferencia con un grupo control en los niveles de empatía relacionados con el funcionamiento de las neuronas espejo frente al dolor vicario. Para ello, dado que la limitación principal de este estudio es el tamaño de la muestra, se podría aumentar y, en segundo lugar, añadir un mayor número de imágenes al vídeo reproducido durante la RMN-f. Esos estudios pueden tener mucha relevancia, no solo a la hora de añadir información general sobre ciertos trastornos, sino también a la hora de plantear tratamientos específicos para esas poblaciones, dado que la empatía, como anteriormente se ha explicado, es un concepto muy importante en la sociedad y en la vida de los individuos.

REFERENCIAS

- Avenanti, A., Buetti, D., Galati, G., y Aglioti, S. M. (2005). Transcranial magnetic stimulation highlights the sensorimotor side of empathy for pain. *Nature neuroscience*, 8(7), 955–960. <https://doi.org/10.1038/nn1481>
- Bekkali, S., Youssef, G. J., Donaldson, P. H., Albein-Urios, N., Hyde, C., y Enticott, P. G. (2021). Is the Putative Mirror Neuron System Associated with Empathy? A Systematic Review and Meta-Analysis. *Neuropsychology review*, 31(1), 14–57. <https://doi.org/10.1007/s11065-020-09452-6>
- Binder, E., Dovern, A., Hesse, M. D., Ebke, M., Karbe, H., Saliger, J., Fink, G. R., y Weiss, P. H. (2017). Lesion evidence for a human mirror neuron system. *Cortex: a journal devoted to the study of the nervous system and behavior*, 90, 125–137. <https://doi.org/10.1016/j.cortex.2017.02.008>
- Blair R. J. (2013). The neurobiology of psychopathic traits in youths. *Nature reviews. Neuroscience*, 14(11), 786–799. <https://doi.org/10.1038/nrn3577>
- Buxbaum L. J. (2001). Ideomotor apraxia: a call to action. *Neurocase*, 7(6), 445–458. <https://doi.org/10.1093/neucas/7.6.445>
- Carr, L., Iacoboni, M., Dubeau, M. C., Mazziotta, J. C., & Lenzi, G. L. (2003). Neural mechanisms of empathy in humans: a relay from neural systems for imitation to limbic areas. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 100(9), 5497–5502. <https://doi.org/10.1073/pnas.0935845100>
- Chen, C., Hung, A. Y., Fan, Y. T., Tan, S., Hong, H., y Cheng, Y. (2017). Linkage between pain sensitivity and empathic response in adolescents with autism spectrum conditions and conduct disorder symptoms. *Autism research: official journal of the International Society for Autism Research*, 10(2), 267–275. <https://doi.org/10.1002/aur.1653>
- Cheng, Y., Lin, C. P., Liu, H. L., Hsu, Y. Y., Lim, K. E., Hung, D., y Decety, J. (2007). Expertise modulates the perception of pain in others. *Current biology: CB*, 17(19), 1708–1713. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2007.09.020>
- Dapretto, M., Davies, M. S., Pfeifer, J. H., Scott, A. A., Sigman, M., Bookheimer, S. Y., & Iacoboni, M. (2006). Understanding emotions in others: mirror neuron dysfunction in children with autism spectrum disorders. *Nature neuroscience*, 9(1), 28–30. <https://doi.org/10.1038/nn1611>
- Decety, J., Bartal, I. B., Uzefovsky, F., y Knafo-Noam, A. (2016). Empathy as a driver of prosocial behavior: highly conserved neurobehavioral mechanisms across species. *Philosophical transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological sciences*, 371(1686), 20150077.
- Decety, J., Grèzes, J., Costes, N., Perani, D., Jeannerod, M., Procyk, E., Grassi, F., y Fazio, F. (1997). Brain activity during observation of actions. Influence

- of action content and subject's strategy. *Brain: a journal of neurology*, 120 (10), 1763–1777. <https://doi.org/10.1093/brain/120.10.1763>
- Decety, J., y Jackson, P. L. (2004). The functional architecture of human empathy. *Behavioral and cognitive neuroscience reviews*, 3(2), 71–100. <https://doi.org/10.1177/1534582304267187>
- Decety, J., Norman, G. J., Berntson, G. G., y Cacioppo, J. T. (2012). A neurobehavioral evolutionary perspective on the mechanisms underlying empathy. *Progress in neurobiology*, 98(1), 38–48. <https://doi.org/10.1016/j.pneurobio.2012.05.001>
- de Vignemont, F., y Singer, T. (2006). The empathic brain: how, when and why?. *Trends in cognitive sciences*, 10(10), 435–441. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2006.08.008>
- Dimberg, U., Thunberg, M., y Elmehed, K. (2000). Unconscious facial reactions to emotional facial expressions. *Psychological science*, 11(1), 86–89. <https://doi.org/10.1111/1467-9280.00221>
- di Pellegrino, G., Fadiga, L., Fogassi, L., Gallese, V., & Rizzolatti, G. (1992). Understanding motor events: a neurophysiological study. *Experimental brain research*, 91(1), 176–180. <https://doi.org/10.1007/BF00230027>
- Dushanova, J., y Donoghue, J. (2010). Neurons in primary motor cortex engaged during action observation. *The European journal of neuroscience*, 31(2), 386–398. <https://doi.org/10.1111/j.1460-9568.2009.07067>.
- Dvash, J., y Shamay-Tsoory, S. G. (2014). Theory of mind and empathy as multidimensional constructs: Neurological foundations. *Topics in Language Disorders*, 34(4), 282–295. <https://doi.org/10.1097/TLD.0000000000000040>
- Errante, A., & Fogassi, L. (2021). Functional Lateralization of the Mirror Neuron System in Monkey and Humans. *Symmetry*, 13(1), 77. <http://dx.doi.org/10.3390/sym13010077>
- Frith, C. D., y Frith, U. (2006). The neural basis of mentalizing. *Neuron*, 50(4), 531–534. <https://doi.org/10.1016/j.neuron.2006.05.001>
- Leiguarda, R. C., & Marsden, C. D. (2000). Limb apraxias: higher-order disorders of sensorimotor integration. *Brain : a journal of neurology*, 123(5), 860–879. <https://doi.org/10.1093/brain/123.5.860>
- Goldenberg G. (2009). Apraxia and the parietal lobes. *Neuropsychologia*, 47(6), 1449–1459. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2008.07.014>

- Grafton, S. T., Arbib, M. A., Fadiga, L., y Rizzolatti, G. (1996). Localization of grasp representations in humans by positron emission tomography. 2. Observation compared with imagination. *Experimental brain research*, 112(1), 103–111. <https://doi.org/10.1007/BF00227183>
- Gallese, V. (2003). The roots of empathy: the shared manifold hypothesis and the neural basis of intersubjectivity. *Psychopathology*, 36(4), 171–180. <https://doi.org/10.1159/000072786>
- Gallese, V. G. (2011). Neuronas espejo, simulación corporeizada y las bases neurales de la identificación social. *Revista electrónica de psicoterapia*, 5(1). 34-59.
- Gallese, V., Fadiga, L., Fogassi, L., y Rizzolatti, G. (1996). Action recognition in the premotor cortex. *Brain: a journal of neurology*, 119(2), 593–609. <https://doi.org/10.1093/brain/119.2.593>
- Gallese, V., y Goldman, A. (1998). Mirror neurons and the simulation theory of mind-reading. *Trends in cognitive sciences*, 2(12), 493–501. [https://doi.org/10.1016/s1364-6613\(98\)01262-5](https://doi.org/10.1016/s1364-6613(98)01262-5)
- Gallese, V., y Sinigaglia, C. (2011). What is so special about embodied simulation? *Trends in cognitive sciences*, 15(11), 512–519. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2011.09.003>
- Heyes C. (2018). Empathy is not in our genes. *Neuroscience and biobehavioral reviews*, 95, 499–507. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2018.11.001>
- Hein, G., Silani, G., Preuschoff, K., Batson, C. D., y Singer, T. (2010). Neural responses to ingroup and outgroup members' suffering predict individual differences in costly helping. *Neuron*, 68(1), 149–160. <https://doi.org/10.1016/j.neuron.2010.09.003>
- Iacoboni, M. (2009). Las neuronas espejo: empatía neuropolítica autismo imitación o de como entendemos a los otros. *Katz Barpal*.
- Iacoboni, M., Molnar-Szakacs, I., Gallese, V., Buccino, G., Mazziotta, J. C., y Rizzolatti, G. (2005). Grasping the intentions of others with one's own mirror neuron system. *PLoS biology*, 3(3), e79. <https://doi.org/10.1371/journal.pbio.0030079>
- Ickes, W., & Simpson, J. A. (2004). Managing Empathic Accuracy in Close Relationships. *Close relationships: Key readings*. 345–363.

- Jabbi, M., Swart, M., & Keysers, C. (2007). Empathy for positive and negative emotions in the gustatory cortex. *NeuroImage*, *34*(4), 1744–1753. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2006.10.032>
- Jackson, P. L., Meltzoff, A. N., y Decety, J. (2005). How do we perceive the pain of others? A window into the neural processes involved in empathy. *NeuroImage*, *24*(3), 771–779. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2004.09.006>
- Keysers, C., y Gazzola, V. (2007). Integrating simulation and theory of mind: from self to social cognition. *Trends in cognitive sciences*, *11*(5), 194–196. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2007.02.002>
- Krishnan, A., Woo, C. W., Chang, L. J., Ruzic, L., Gu, X., López-Solà, M., Jackson, P. L., Pujol, J., Fan, J., & Wager, T. D. (2016). Somatic and vicarious pain are represented by dissociable multivariate brain patterns. *eLife*, *5*, e15166. <https://doi.org/10.7554/eLife.15166>
- Lamm, C., Batson, C. D., y Decety, J. (2007). The neural substrate of human empathy: effects of perspective-taking and cognitive appraisal. *Journal of cognitive neuroscience*, *19*(1), 42–58. <https://doi.org/10.1162/jocn.2007.19.1.42>
- Mestre Escrivá, V., Frías Navarro, M. D. y Samper García, P. (2004). La medida de la empatía: análisis del Interpersonal Reactivity Index. *Psicothema*, *16*(2), 255-260.
- Minio-Paluello, I., Baron-Cohen, S., Avenanti, A., Walsh, V., y Aglioti, S. M. (2009). Absence of embodied empathy during pain observation in Asperger syndrome. *Biological psychiatry*, *65*(1), 55–62. <https://doi.org/10.1016/j.biopsych.2008.08.006>
- Mischkowski, D., Crocker, J., y Way, B. M. (2016). From painkiller to empathy killer: acetaminophen (paracetamol) reduces empathy for pain. *Social cognitive and affective neuroscience*, *11*(9), 1345–1353. <https://doi.org/10.1093/scan/nsw057>
- Pfeifer, J. H., Iacoboni, M., Mazziotta, J. C., y Dapretto, M. (2008). Mirroring others' emotions relates to empathy and interpersonal competence in children. *NeuroImage*, *39*(4), 2076–2085. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2007.10.032>
- Preston, S. D., y de Waal, F. B. (2002). Empathy: Its ultimate and proximate bases. *The Behavioral and brain sciences*, *25*(1), 1–71. <https://doi.org/10.1017/s0140525x02000018>
- Restle J., Murakami, T., y Ziemann, U. (2012). Facilitation of speech repetition accuracy by theta burst stimulation of the left posterior inferior frontal

- Rizzolatti, G., Fadiga, L., Gallese, V., y Fogassi, L. (1996). Premotor cortex and the recognition of motor actions. *Brain research. Cognitive brain research*, 3(2), 131–141. [https://doi.org/10.1016/0926-6410\(95\)00038-0](https://doi.org/10.1016/0926-6410(95)00038-0)
- Rizzolatti, G., Fadiga, L., Matelli, M., Bettinardi, V., Paulesu, E., Perani, D., & Fazio, F. (1996) Localization of grasp representation in humans by PET: 1. Observation versus execution. *Exp. Brain Res.* 111, 246–252.
- Schulte-Rüther, M., Markowitsch, H. J., Fink, G. R., & Piefke, M. (2007). Mirror neuron and theory of mind mechanisms involved in face-to-face interactions: a functional magnetic resonance imaging approach to empathy. *Journal of cognitive neuroscience*, 19(8), 1354–1372. <https://doi.org/10.1162/jocn.2007.19.8.1354>
- Singer T. (2006). The neuronal basis and ontogeny of empathy and mind reading: review of literature and implications for future research. *Neuroscience and biobehavioral reviews*, 30(6), 855–863. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2006.06.011>
- Shamay-Tsoory, S. G., Aharon-Peretz, J., y Perry, D. (2009). Two systems for empathy: a double dissociation between emotional and cognitive empathy in inferior frontal gyrus versus ventromedial prefrontal lesions. *Brain: a journal of neurology*, 132(3), 617–627. <https://doi.org/10.1093/brain/awn279>
- Shammi, P., y Stuss, D. T. (1999). Humour appreciation: a role of the right frontal lobe. *Brain: a journal of neurology*, 122(4), 657–666. <https://doi.org/10.1093/brain/122.4.657>
- Tkach, D., Reimer, J., y Hatsopoulos, N. G. (2007). Congruent activity during action and action observation in motor cortex. *The Journal of neuroscience: the official journal of the Society for Neuroscience*, 27(48), 13241–13250. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.2895-07.2007>