



FACULTAD DE CIENCIAS HUMANAS Y SOCIALES

Análisis neurobiológico de los trastornos mentales mediante técnicas de neuroimagen y su impacto en la inimputabilidad

Autor/a: Paola González García

Director/a: María Victoria Montes Gan

Madrid

2024/2025

INDICE

RESUMEN	5
ABSTRACT	5
1. INTRODUCCIÓN.....	7
1.1. Justificación teórica	7
1.2. Objetivos del trabajo	8
1.3. Metodología	9
2. MARCO TEÓRICO.....	10
2.1. Trastornos mentales y su impacto en la conducta criminal.....	10
2.1.1. Definición y clasificación de los trastornos mentales	10
2.1.2. Principales trastornos mentales asociados a conductas delictivas	10
2.3. Neurobiología de los trastornos mentales.....	13
2.4. Concepto de inimputabilidad en el contexto penal	14
3. TÉCNICAS DE NEUROIMAGEN EN EL ESTUDIO DE LOS TRASTORNOS MENTALES	16
4. HALLAZGOS NEUROBIOLÓGICOS MEDIANTE TÉCNICAS DE NEUROIMAGEN EN TRASTORNOS MENTALES ESPECÍFICOS	18
4.1. Neuroimagen en la esquizofrenia	18
4.2. Neuroimagen en el trastorno de personalidad antisocial	20
4.3. Neuroimagen en el trastorno límite de la personalidad (TLP)	21
4.4. Neuroimagen en la psicopatía	22
4.5. Comparación de los hallazgos neurobiológicos entre diferentes trastornos	24
5. EL CONCEPTO DE INIMPUTABILIDAD DESDE UN ENFOQUE NEUROBIOLÓGICO Y CRIMINOLÓGICO	25
5.1. Neuroimagen como herramienta en la evaluación de la inimputabilidad. El uso de neuroimagen en procesos judiciales.	25
5.2. Ejemplos de casos relevantes en la práctica judicial.....	26
5.3. El impacto de la neuroimagen en el sistema penal	28
5.4. Perspectivas futuras	29
6. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES	30
BIBLIOGRAFÍA.....	33

RESUMEN

Este trabajo aborda el análisis neurobiológico de los trastornos mentales mediante técnicas de neuroimagen y su impacto en la inimputabilidad dentro del ámbito criminológico y legal. A partir de la revisión de la literatura científica, se describen las principales técnicas de neuroimagen, tanto estructurales como funcionales, así como su aplicación en el estudio de la esquizofrenia, el trastorno antisocial de la personalidad, el trastorno límite de la personalidad, la psicopatía y otros trastornos. Los hallazgos indican, en términos generales, disfunciones en la corteza prefrontal, la amígdala y el sistema límbico, lo que influye en la regulación emocional y el control de impulsos. Estos hallazgos han comenzado a influir en la evaluación de la responsabilidad penal y la inimputabilidad en procesos judiciales. Si bien la neuroimagen proporciona evidencia objetiva sobre alteraciones cerebrales, su interpretación en el contexto legal sigue siendo objeto de debate debido a su complejidad y a la influencia de factores ambientales y sociales. Finalmente, se concluye la necesidad de un enfoque multidisciplinar para integrar de manera efectiva la neurociencia en la justicia penal.

Palabras clave: Neuroimagen, trastornos mentales, inimputabilidad, criminología, neurociencia, conducta criminal.

ABSTRACT

This study explores the neurobiological analysis of mental disorders through neuroimaging techniques and their implications for criminal responsibility within criminological and legal contexts. Following a comprehensive review of scientific literature, the primary structural and functional neuroimaging techniques are outlined, along with their application in the study of schizophrenia, antisocial personality disorder, borderline personality disorder, psychopathy, and other conditions. The findings generally point to dysfunctions in the prefrontal cortex, amygdala, and limbic system, which play key roles in emotional regulation and impulse control. These discoveries have begun to inform assessments of criminal responsibility and legal defences based on diminished culpability. While neuroimaging provides objective evidence of brain abnormalities, its legal interpretation remains contentious due to its complexity and the influence of environmental and social factors. The dissertation concludes by emphasising the need for a multidisciplinary approach to effectively integrate neuroscience into criminal justice.

Keywords: Neuroimaging, mental disorders, criminal responsibility, criminology, neuroscience, criminal behaviour.

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Justificación teórica

Los trastornos mentales han sido objeto de interés durante muchos años en áreas como la psiquiatría, la neurociencia y la psicología. Históricamente, se estudiaban basándose en observaciones clínicas y teorías psicológicas, pero en los últimos años, con el avance de la tecnología y, en especial, con las técnicas de neuroimagen se ha podido observar tanto el funcionamiento como la estructura del cerebro lo que ha ayudado a estudiar en profundidad diferentes trastornos como la esquizofrenia o el trastorno de personalidad antisocial, entre otros.

La neurociencia ha avanzado principalmente en los últimos dos siglos. Al principio se centraba en ubicar las funciones cerebrales, pero con el tiempo ha evolucionado hasta llegar a la comprensión de los circuitos neuronales. Las técnicas más relevantes son la resonancia magnética funcional (RMf), que muestra la actividad cerebral en tiempo real; la imagen de tensor de difusión (DTI) que mide la sustancia blanca en el cerebro; la tomografía por emisión de positrones (PET) que mide el metabolismo; la resonancia magnética (RM), que permite ver la estructura del cerebro y detectar anomalías físicas; y la magnetoencefalografía (MEG) que mide los campos magnéticos generados por la actividad eléctrica de las neuronas.

En relación con los trastornos mentales y sus bases neurobiológicas, se ha visto que la esquizofrenia afecta a la conexión entre varias áreas del cerebro, como el córtex prefrontal, las estructuras temporolímbicas y los ganglios basales. De esta forma, puede considerarse como una enfermedad fronto-temporolímbica. Además, déficits de atención y problemas de memoria de trabajo que tienen las personas con esquizofrenia, están relacionados con las funciones del lóbulo frontal (Parellada y Bernardo, 2000).

Por otro lado, en el trastorno de personalidad antisocial se han encontrado alteraciones neurobiológicas que afectan a la agresividad y a la impulsividad. La amígdala, el hipocampo y la corteza prefrontal son las principales estructuras implicadas en la conducta agresiva. Las personas que padecen este trastorno tienen una hiperactividad en el Sistema de Activación Comportamental y una baja actividad en el Sistema de Inhibición Comportamental, lo que los lleva a la búsqueda de sensaciones, a tener una baja reactividad emocional y una dificultad para aprender de los castigos. Además, el

sistema límbico tiene una disminución en la actividad en regiones como la amígdala, el hipocampo, el giro parahipocampal y el estriado ventral, afectando al control emocional y a la impulsividad (Garzón y Sánchez, 2007).

Los avances en la neuroimagen no solo han cambiado la forma en que se entienden los trastornos mentales, sino que también han cobrado especial importancia en el ámbito judicial, al generar nuevos debates sobre la inimputabilidad de las personas que padecen estos trastornos y en cómo las alteraciones cerebrales pueden influir en la capacidad tanto cognitiva como volitiva de los sujetos. En el sistema judicial estadounidense, las técnicas de neuroimagen han comenzado a desempeñar un papel importante, especialmente en la fase de sentencia de casos penales graves, como los que implican la pena de muerte. Estas pruebas pueden mostrar anomalías cerebrales que pueden reducir la responsabilidad penal de los acusados. Aunque su uso sigue siendo limitado en otras fases del proceso, su impacto en la discusión sobre la inimputabilidad continúa creciendo (Sánchez Vilanova, 2020).

El Código Penal español no ofrece una definición explícita de la inimputabilidad, pero podría definirse como la incapacidad de una persona para comprender la naturaleza de sus actos o para actuar de acuerdo con esa comprensión. El artículo 20 del Código Penal establece las circunstancias en las que la persona estaría exenta de responsabilidad, estas a su vez pueden dar lugar a eximentes completas o incompletas de la responsabilidad penal.

1.2.Objetivos del trabajo

Este Trabajo de Fin de Grado tiene como objetivo principal analizar cómo el uso de técnicas de neuroimagen contribuye a la comprensión neurobiológica de los trastornos mentales, así como analizar su impacto en la determinación de la responsabilidad penal y la inimputabilidad en el ámbito criminológico y legal.

En cuanto a los objetivos específicos estos son la descripción del estado actual del conocimiento neurobiológico sobre los trastornos mentales, destacando las áreas del cerebro más afectadas; el examen del impacto de estas alteraciones en la capacidad volitiva y cognitiva de los individuos; la revisión de las principales técnicas de neuroimagen utilizadas en el estudio de los trastornos mentales; el estudio de los hallazgos

neurobiológicos en distintos trastornos mentales a través de estudios de neuroimagen; el análisis de la relación entre las alteraciones neurobiológicas y las conductas criminales en personas con trastornos mentales, evaluando su influencia en la inimputabilidad; y la valoración de la fiabilidad y las limitaciones de las técnicas de neuroimagen como prueba científica en la evaluación de la capacidad cognitiva y volitiva en personas con trastornos mentales en el contexto legal.

1.3. Metodología

El presente trabajo de fin de grado se trata de un trabajo de metodología cualitativa ya que se ha desarrollado a partir de la revisión de la literatura científica existente.

La principal fuente de datos para la elaboración de este TFG ha sido la consulta de artículos de investigación y académicos publicados en revistas científicas especializadas en neurociencia, psiquiatría y criminología, entre otras ramas. La búsqueda de artículos se ha realizado a través de bases de datos académicas como PubMed, Scielo, Scopus, Google Scholar, y Dialnet, además de otras webs de instituciones oficiales de derecho penal y criminología.

Para realizar la búsqueda de artículos se han usado palabras clave como: técnicas de neuroimagen, neuroimagen, trastornos mentales, inimputabilidad, criminología, neurociencia, conducta criminal. Además, de otras más específicas para llevar a cabo el análisis neurobiológico de los trastornos, como esquizofrenia, psicopatía, trastorno antisocial de la personalidad (TAP) y trastorno límite de la personalidad (TLP).

Se han utilizado artículos de investigación y científicos, descartándose la información obtenida de páginas web no científicas y artículos de opinión ya que no cuentan con el rigor suficiente para poder elaborar este trabajo.

No se han establecido límites temporales en la búsqueda, pero se han utilizado los artículos de investigación más recientes, salvo excepciones en artículos de referencia.

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Trastornos mentales y su impacto en la conducta criminal

2.1.1. Definición y clasificación de los trastornos mentales

La clasificación de los trastornos mentales es fundamental para el diagnóstico, tratamiento y comprensión de las patologías psicológicas. Se realiza mediante dos sistemas principales: la Clasificación Internacional de Enfermedades (CIE) y el Manual Diagnóstico y Estadístico de los Trastornos Mentales (DSM). La CIE, como indica Solé Arrondo (2002), ofrece un enfoque multidimensional que tiene en cuenta tanto los síntomas como el contexto sociocultural del paciente, permitiendo su aplicación en diferentes entornos. Por su parte, el DSM-5, según Sandín (2013), introduce modificaciones para lograr una mayor precisión en el diagnóstico, enfocándose en los síntomas y su impacto en el funcionamiento del individuo.

Sin embargo, como mencionan Reed y Ayuso-Mateos (2011), ambos sistemas de clasificación tienen importantes limitaciones, especialmente en términos de validez clínica. Aunque estos sistemas han mejorado la identificación de trastornos mentales, todavía no reflejan adecuadamente la complejidad de la práctica clínica ya que los diagnósticos a menudo son imprecisos o "no especificados" y muchos pacientes cumplen los criterios para múltiples trastornos. Esto sugiere que los sistemas no capturan todas las facetas de una misma condición lo que dificulta la selección de tratamientos adecuados y limita la utilidad clínica de estas clasificaciones.

2.1.2. Principales trastornos mentales asociados a conductas delictivas

La relación entre los trastornos mentales y la conducta delictiva ha sido ampliamente estudiada, especialmente en prisiones, donde la prevalencia de estas patologías es mayor en comparación con la población general. Algunos de los trastornos más relacionados con la comisión de delitos son el Trastorno Límite de la Personalidad (TLP), el Trastorno Antisocial de la Personalidad (TAP), la psicopatía, los trastornos psicóticos, el trastorno bipolar y los trastornos relacionados con el consumo de sustancias (Astudillo González y Fajardo Delgado, 2023; Martínez Díaz et al., 2001).

Aunque el TAP y la psicopatía suelen usarse indistintamente, es importante señalar que no son sinónimos. Ambos comparten rasgos como el desprecio por las normas sociales y la tendencia a la manipulación, pero tienen diferencias clave entre ellos (Martínez Díaz et al., 2001).

El Trastorno Antisocial de la Personalidad (TAP), definido en el *DSM-5*, se caracteriza por un patrón persistente de violación de los derechos de los demás, manipulación, impulsividad, irresponsabilidad y una falta de remordimiento. Las personas que padecen este trastorno tienen una propensión significativa a la violencia, el fraude y otros delitos graves, debido a su desprecio por las normas sociales y su tendencia a manipular a los demás. Además, su baja sensibilidad al castigo y la falta de empatía incrementan su riesgo de reincidencia. Las personas con TAP suelen realizar conductas delictivas que generen gratificación inmediata, actuando de manera impulsiva sin una planificación a largo plazo y sin reflexionar sobre el daño que pueden causar (Astudillo González y Fajardo Delgado, 2023).

Por otro lado, la psicopatía incluye elementos del TAP, pero con diferencias marcadas. Mientras que todas las personas psicópatas tienen rasgos antisociales, no todas las personas con TAP son psicópatas. Los psicópatas suelen ser más fríos, calculadores y manipuladores, pero a diferencia de las personas con TAP, tienden a tener más cuidado en su comportamiento delictivo. Pueden planificar sus crímenes con detalle y a menudo logran evadir la justicia durante largos periodos. Además, muestran una capacidad de manipulación más sofisticada, haciéndose pasar por individuos funcionales en la sociedad. Mientras que en el TAP la impulsividad es fundamental, los psicópatas presentan una mayor capacidad de planificación y también pueden engañar a los demás con facilidad, aspectos que no necesariamente están en el TAP. Además, tampoco sienten culpa, no tienen la capacidad de tener vínculos afectivos y tienen un encanto superficial (Astudillo González y Fajardo Delgado, 2023).

El Trastorno Límite de la Personalidad (TLP) se caracteriza por una marcada impulsividad, dificultades en la regulación emocional y episodios de ira intensa. Estas características pueden llevarlos a realizar conductas delictivas, especialmente en momentos de gran carga emocional. Las personas con TLP suelen tener dificultades para controlar sus impulsos, lo que en situaciones de estrés puede llevarlos a cometer actos violentos o conductas delictivas. Además, se ha encontrado una fuerte comorbilidad con el abuso de sustancias, lo que aumenta el riesgo de cometer delitos (Zabala Baños, 2016).

Los trastornos psicóticos, como la esquizofrenia, pueden hacer que una persona perciba la realidad de manera distorsionada. Cuando tienen síntomas psicóticos positivos como delirios o alucinaciones pueden llegar a cometer conductas violentas. Aunque no todas las personas con esquizofrenia son violentas, existe una mayor probabilidad de que se cometan actos delictivos si aparecen síntomas psicóticos, especialmente cuando se combinan con el consumo de sustancias (Astudillo González y Fajardo Delgado, 2023).

En el caso del trastorno bipolar, durante los episodios maníacos, las personas pueden comportarse de forma impulsiva y asumir riesgos sin pensar en las consecuencias. Esto puede llevarlos a cometer delitos como agresiones o robos ya que sobreestiman sus capacidades y no perciben correctamente las consecuencias de sus actos (Astudillo González y Fajardo Delgado, 2023).

El abuso de sustancias está estrechamente vinculado a la delincuencia, tanto por la naturaleza adictiva de las drogas, que hace que las personas cometan delitos para poder conseguir las, como porque los efectos de algunas sustancias pueden hacer que las personas actúen de manera violenta. En el contexto penitenciario, este tipo de trastornos es uno de los más prevalentes y está muy relacionado con la reincidencia (Astudillo González y Fajardo Delgado, 2023).

Además, en otros estudios se ha observado que, tanto en contextos latinoamericanos como españoles, el TDAH pueden aumentar el riesgo de conductas delictivas en adolescentes. Según Alarcón et al. (2023), los adolescentes con TDAH suelen presentar dificultades en el control de impulsos y en la regulación emocional, lo que los puede llevar a comportamientos disruptivos y a su implicación en delitos. La hiperactividad e impulsividad junto con los problemas de atención pueden hacer que se involucren más en actividades delictivas al no pensar en las consecuencias.

2.2.Evolución histórica de los estudios neurobiológicos y la criminología

La relación entre la neurobiología y la criminología ha sido estudiada durante varias décadas con el fin de comprender por qué algunas personas cometen delitos, para ello se han usado diferentes enfoques desde modelos clínicos hasta el uso de neuroimagen avanzada. En el siglo XIX, Cesare Lombroso (1876) propuso teorías sobre la fisonomía criminal, sugiriendo que ciertos rasgos físicos heredados podían predecir si alguien sería

un criminal. Aunque, finalmente, sus ideas fueron descartadas por su falta de rigor científico y su enfoque determinista.

En el siglo XX, los avances en el estudio del cerebro y el comportamiento impulsaron investigaciones centradas en los mecanismos neurales que explican la conducta. Se integraron conocimientos de distintas áreas para comprender mejor los trastornos mentales y emocionales relacionados con comportamientos antisociales (Chamizo Molero y Rivera Urbina, 2012). En las últimas décadas, la neuroimagen ha permitido estudios más precisos, se ha podido identificar regiones cerebrales claves para la toma de decisiones, el control del comportamiento y la regulación emocional. Las alteraciones en estas áreas pueden provocar impulsividad y problemas en el procesamiento emocional (Gao et al., 2009). Además, se ha observado una conexión entre la activación de estas regiones y la toma de decisiones éticas (Greene et al., 2001).

2.3. Neurobiología de los trastornos mentales

Investigaciones recientes han demostrado que ciertas estructuras cerebrales, cada una con funciones específicas, están relacionadas con el comportamiento antisocial, y que, cualquier alteración en estas áreas, puede incrementar el riesgo de presentar estas conductas. Entre las zonas más afectadas están la corteza prefrontal y algunas estructuras del sistema límbico (García López, 2022).

Una de las principales estructuras involucradas es la amígdala, que forma parte del sistema límbico y que se encarga de regular las emociones. La amígdala tiene un papel fundamental en la respuesta emocional, especialmente frente a estímulos amenazantes. Los estudios de neuroimagen han mostrado que esta estructura se activa ante estímulos relacionados con el peligro como las expresiones faciales de miedo (Ortega Rodríguez, 2021).

Otras estructuras del sistema límbico que influyen en el comportamiento son el cíngulo anterior, cuya alteración puede hacer que una persona tenga dificultades para inhibir respuestas antisociales y manejar situaciones conflictivas; el cíngulo posterior, cuya alteración se ha asociado con dificultades para tomar decisiones morales, lo que puede llevar al incumplimiento de normas sociales y a un bajo locus de control interno en contextos que impliquen consecuencias negativas para el individuo; y el hipocampo,

que al estar alterado, puede impedir que el individuo reconozca conductas que han sido previamente castigadas (García López, 2022).

Por otro lado, el lóbulo frontal, específicamente la corteza prefrontal, tiene un papel fundamental en la toma de decisiones y el control de impulsos. La corteza prefrontal se divide en varias áreas:

Corteza ventromedial: Esta área, situada justo encima de los ojos, es responsable de la percepción del miedo, la evaluación del riesgo, la toma de decisiones y el control de impulsos. Si hay lesiones en esta zona la persona puede volverse menos empática, tomar decisiones incorrectas y ser más propensa a realizar conductas antisociales (Ortega Rodríguez, 2021).

Corteza dorsolateral: Esta área controla funciones ejecutivas como la planificación, la resolución de problemas y el control cognitivo. La disfunción en esta área puede estar relacionada con comportamientos impulsivos y violentos y con la continuación en la conducta, aunque ya se haya castigado por ella (García López, 2022; Ortega Rodríguez, 2021).

Corteza orbitofrontal: Esta área del cerebro está implicada en evaluar lo que es correcto o no, así como en incorporar valores aprendidos de otras personas (Ortega Rodríguez, 2021). Tiene un papel fundamental en la regulación de la conducta (García López, 2022).

La interacción entre el sistema límbico y la corteza prefrontal es fundamental para la regulación emocional y, por consiguiente, el control del comportamiento. Mientras la amígdala genera respuestas rápidas a los estímulos emocionales, la corteza prefrontal ayuda a moderar e inhibir estos impulsos. Una alteración en estas áreas aumenta la posibilidad de que aparezcan conductas agresivas (García López, 2022).

2.4. Concepto de inimputabilidad en el contexto penal

La inimputabilidad es un término jurídico que hace referencia a la incapacidad de una persona para ser considerada penalmente responsable de sus acciones por factores que afectan gravemente sus facultades cognitivas (capacidad para entender sus actos) o volitivas (capacidad para actuar en consecuencia a esa comprensión). Es decir, se aplica

a aquellos casos en los que la persona no puede comprender la ilegalidad de sus acciones o no es capaz de actuar conforme a esa comprensión (Hernández Arguedas, 2015).

En el ordenamiento jurídico español, al igual que en la mayoría de los sistemas penales europeos, no existe una definición directa de imputabilidad. En su lugar, se infiere de manera negativa, a través de las causas que la excluyen, tal como lo recoge el artículo 20 del Código Penal (CP). Este artículo especifica las situaciones en las que un individuo puede ser eximido de responsabilidad penal debido a factores que alteran gravemente su capacidad para comprender o ajustar su conducta a esa comprensión. Las principales causas de exención relacionadas con la inimputabilidad son la anomalía o alteración psíquica, el estado de intoxicación plena y las alteraciones en la percepción de la realidad desde el nacimiento o infancia.

Anomalía o alteración psíquica (artículo 20.1 del CP): El Código Penal indica que no serán penalmente responsables aquellos que, al momento de cometer el delito, sufran una anomalía o alteración psíquica que les impida comprender la ilicitud de sus actos o actuar conforme a esa comprensión. Esta categoría abarca un amplio espectro de trastornos mentales, como la esquizofrenia, los trastornos bipolares o las psicosis severas. Cabe señalar que no todos los trastornos mentales son suficientes para eximir de responsabilidad penal ya que estos deben tener un impacto significativo en las capacidades cognitivas y volitivas del individuo.

Estado de intoxicación plena (artículo 20.2 del CP): También estarán exentos de responsabilidad aquellos que, en el momento de cometer el delito, se encuentren en un estado de intoxicación total por el consumo de alcohol, drogas, estupefacientes, psicotrópicos u otras sustancias con efectos similares, o bajo los efectos de un síndrome de abstinencia severo. Esta eximente reconoce que, bajo los efectos de ciertas sustancias, la capacidad del individuo para entender o controlar sus actos puede verse gravemente afectada.

Alteraciones en la percepción de la realidad desde el nacimiento o la infancia (artículo 20.3 del CP): Esta eximente incluye a aquellos que, debido a alteraciones sensoriales graves desde su nacimiento o desde la infancia, tienen una percepción distorsionada de la realidad que les impide comprender plenamente la naturaleza de sus actos. Estos casos suelen estar asociados con discapacidades intelectuales severas o condiciones como el autismo.

Las circunstancias descritas en el artículo 20 pueden dar lugar a dos tipos de eximentes: completas o incompletas. Las eximentes completas implican la eliminación total de la responsabilidad penal, mientras que las eximentes incompletas pueden reducir la pena sin eliminarla por completo. Esto último puede darse cuando la alteración psíquica no es lo suficientemente grave como para anular por completo el juicio del individuo (Hernández Arguedas, 2015).

Para evaluar si una persona es inimputable, se utilizan diferentes enfoques. Las fórmulas biológicas se centran en la existencia de un diagnóstico médico de trastorno mental, mientras que las fórmulas psicológicas se enfocan en cómo ese trastorno afecta el comportamiento delictivo. La fórmula mixta, que es el enfoque más empleado, combina ambos criterios para dar una evaluación más completa de cómo el trastorno mental influye en la capacidad del sujeto en relación con el acto delictivo (Sánchez Vilanova, 2017).

La base legal de la inimputabilidad en el sistema penal español se apoya en la idea de que una persona que no puede comprender o controlar sus actos debido a un trastorno mental grave no puede ser considerada totalmente responsable de ellos.

3. TÉCNICAS DE NEUROIMAGEN EN EL ESTUDIO DE LOS TRASTORNOS MENTALES

El desarrollo de las técnicas de neuroimagen tiene sus orígenes en el año 1895 con el descubrimiento de los rayos X por Wilhelm Conrad Röntgen, que permitió observar el interior del cuerpo sin la necesidad de las intervenciones invasivas que se hacían en ese momento como la lobotomía. Durante los siglos XIX y XX, la radiología avanzó con la creación de la fluoroscopia y el uso de sustancias de contraste que ayudaron a mejorar la calidad de las imágenes.

En los años 70, se creó la Tomografía Axial Computarizada (TAC), una técnica estructural que utiliza rayos X para crear imágenes tridimensionales del cerebro mediante cortes transversales, permitiendo observar los tejidos en alta resolución y diagnosticar patologías neurológicas como tumores y hemorragias con mayor precisión (Parra-Bolaños, 2015).

En las décadas posteriores, surgieron técnicas como la Tomografía por Emisión de Positrones (TEP), una técnica estructural no invasiva que usa campos magnéticos y ondas

de radio para crear imágenes detalladas de estructuras internas como la sustancia blanca y gris; y la Resonancia Magnética Funcional (RMf), una técnica funcional que mide los cambios en el flujo sanguíneo cerebral asociados a la actividad neuronal y que es usada para investigar las funciones cerebrales relacionadas con tareas cognitivas y en el estudio de enfermedades como la esquizofrenia (Cuevas-Esteban et al., 2011; Parra-Bolaños, 2015; Salvatierra, 2021)..

Además, aparecieron otras técnicas como la Resonancia Magnética Nuclear (RMN) que destacó por la visualización de tejidos blandos como la sustancia gris y la sustancia blanca del cerebro; la Magnetoencefalografía (MEG), una técnica funcional no invasiva que registra los campos magnéticos generados por la actividad eléctrica del cerebro, ofreciendo una alta resolución temporal y espacial y que no genera interferencias significativas; y la Electroencefalografía (EEG) que, aunque no sea una técnica de neuroimagen, es esencial para el estudio de la epilepsia y otras alteraciones. Todas ellas se consolidaron en el estudio de la actividad eléctrica cerebral, con aplicaciones en diagnósticos clínicos e investigación (Cuevas-Esteban et al., 2011; Maestú et al., 1999; Parra-Bolaños, 2015; Salvatierra, 2021).

Es importante mencionar otras técnicas estructurales como la Imagen por Tensor de Difusión (DTI) que es una variante de la RM que permite visualizar la dirección y la integridad de las fibras de sustancia blanca y que es fundamental para estudiar la conectividad cerebral, demostrado ser útil en la investigación de la esquizofrenia y otras patologías neurodegenerativas; y la angiografía, una técnica que utiliza un medio de contraste radiopaco para visualizar la estructura de los vasos sanguíneos (Cuevas-Esteban et al., 2011; Salvatierra, 2021).

Entre las técnicas funcionales destacan la Tomografía por Emisión de Positrones (PET), que utiliza un radiomarcador para observar el metabolismo cerebral, permitiendo identificar áreas del cerebro con alta actividad metabólica. La Tomografía por Emisión de Fotón Único (SPECT), similar a la PET, pero utiliza rayos gamma, es más accesible y permite evaluar la perfusión cerebral. Y, finalmente, la Espectroscopia por Resonancia Magnética (ERM) que es una técnica derivada de la RM que permite cuantificar la concentración de metabolitos en el tejido cerebral, proporcionando datos sobre el metabolismo cerebral para el diagnóstico diferencial de enfermedades del sistema nervioso central (Cuevas-Esteban et al., 2011; Parra-Bolaños, 2015; y Salvatierra, 2021).

Las técnicas de neuroimagen han sido esenciales para comprender las bases neurobiológicas de trastornos como la esquizofrenia, la depresión, los trastornos de ansiedad y las demencias. Estas herramientas han permitido detectar disfunciones cerebrales de manera no invasiva, mejorando el diagnóstico y el tratamiento terapéutico.

En la esquizofrenia, la TEP y la RMf han permitido identificar alteraciones en la actividad de la corteza prefrontal y el hipocampo, lo que ha permitido desarrollar biomarcadores útiles para el diagnóstico y seguimiento de la enfermedad (Crespo Facorro, 2011). En la depresión, estas técnicas han identificado patrones anómalos en áreas como la amígdala y la corteza cingulada anterior, lo que ha permitido diseñar terapias más precisas dirigidas a corregir esos desequilibrios observados (Parra-Bolaños, 2015).

En el caso del Alzheimer, el EEG y la RMf han detectado signos de atrofia cortical y problemas en el funcionamiento neuronal en las primeras etapas de la enfermedad. Esto ha permitido intervenir antes con tratamientos como los inhibidores de colinesterasa. Además, estas herramientas permiten monitorear la eficacia de las intervenciones terapéuticas y evaluar la mejora en el rendimiento cognitivo de los pacientes (Parra-Bolaños, 2015).

4. HALLAZGOS NEUROBIOLÓGICOS MEDIANTE TÉCNICAS DE NEUROIMAGEN EN TRASTORNOS MENTALES ESPECÍFICOS

4.1. Neuroimagen en la esquizofrenia

La esquizofrenia es un trastorno mental que ha sido ampliamente estudiado desde una perspectiva neurobiológica. Las técnicas de neuroimagen han permitido realizar avances en la comprensión de las alteraciones cerebrales asociadas con esta enfermedad (García López, 2022).

Las técnicas de neuroimagen estructural han mostrado alteraciones importantes tanto en el volumen como en la morfología del cerebro en las personas con esquizofrenia.

En primer lugar, es importante destacar que hay una reducción del volumen cerebral ya que se produce una pérdida generalizada de sustancia gris, lo que afecta a áreas que

son claves para las funciones cognitivas y emocionales. La reducción de la sustancia gris afecta particularmente a la zona prefrontal teniendo como consecuencia alteraciones en las funciones ejecutivas y la aparición de síntomas negativos como apatía y aislamiento social. Además, es importante mencionar que se ha observado la dilatación de los ventrículos laterales lo que también indica la pérdida de volumen cerebral, en especial en las astas temporales. Asimismo, también se produce una reducción del volumen del hipocampo y de la amígdala, lo que se asocia a dificultades para las personas que sufren este trastorno en la regulación emocional y en los procesos de memoria (Cuevas-Esteban et al., 2011; Ortuño et al., 2005; Saiz Ruiz et al., 2010).

Además, también se han observado alteraciones en el lóbulo temporal superior lo que se relaciona con los déficits tanto en el pensamiento auditivo como en el lenguaje, y alteraciones en la estructura y volumen del tálamo y la ínsula, regiones fundamentales para el procesamiento de información sensorial y emocional. Junto a esto, las imágenes obtenidas mediante tensor de difusión (DTI) han mostrado anomalías en la sustancia blanca, en concreto, en las conexiones frontotemporales y el fascículo uncinado, lo que sugiere una desconexión neuronal que podría subyacer a los síntomas psicóticos (Cuevas-Esteban et al., 2011; Saiz Ruiz et al., 2010).

Por otro lado, la neuroimagen funcional ha sido fundamental para estudiar el metabolismo y la actividad cerebral en la esquizofrenia. Se ha observado hipofrontalidad, es decir, la reducción del flujo sanguíneo y del metabolismo en la corteza prefrontal dorsolateral, tanto en reposo como cuando la persona realiza tareas cognitivas (Ortuño et al., 2005; Cuevas-Esteban et al., 2011). También, gracias a la PET, se ha observado hiperactividad dopaminérgica subcortical, lo que se asocia con los síntomas positivos de la esquizofrenia, como delirios y alucinaciones (Saiz Ruiz et al., 2010). Y, gracias a la RMf, se han demostrado alteraciones en la conectividad funcional, al observar una desconexión entre regiones frontales, temporales y límbicas, lo que afecta al pensamiento y las emociones (Cuevas-Esteban et al., 2011; Saiz Ruiz et al., 2010).

Además, la pérdida de sustancia gris en distintas áreas ya mencionadas, afecta también a la neuroplasticidad y a la capacidad del cerebro para adaptarse a nuevas situaciones. Esta reducción suele ser estable a lo largo del tiempo, aunque se ha observado que los pacientes con mayores pérdidas presentan una peor evolución clínica (Crespo Facorro, 2011; Saiz Ruiz et al., 2010).

Las técnicas como la espectroscopia por resonancia magnética (ERM) y el PET han proporcionado información clave sobre los desequilibrios neuroquímicos en la esquizofrenia. En el caso de la dopamina, se ha encontrado que hay hiperactividad en las vías mesolímbicas, relacionado con síntomas positivos como las alucinaciones, mientras que en las vías mesocorticales hay una disfunción que se asocia con síntomas negativos como la falta de motivación. Por otro lado, en cuanto al glutamato, se ha detectado una reducción en la actividad del receptor NMDA, lo que afecta a las funciones cognitivas. Finalmente, en relación con el neurotransmisor inhibitorio GABA, una disminución en la actividad del mismo podría estar relacionada con el aumento de los síntomas psicóticos y una mayor disregulación neuronal (Saiz Ruiz et al., 2010).

4.2. Neuroimagen en el trastorno de personalidad antisocial

El Trastorno de Personalidad Antisocial (TAP) ha sido objeto de muchos estudios debido a sus implicaciones en la conducta humana y a su relevancia en contextos legales y psiquiátricos.

Las técnicas de neuroimagen estructural han identificado cambios significativos en la estructura cerebral de individuos con TAP.

Por un lado, se ha podido observar que en las personas con TAP, la corteza prefrontal (CPF), en especial las áreas orbitofrontal y cingulada anterior, presentan un volumen reducido. Estas áreas son fundamentales para el control de impulsos, la toma de decisiones y la regulación emocional. Asimismo, también se ha podido ver que personas con esta patología sufren una disminución de materia gris y materia blanca, esto está asociado a comportamientos desinhibidos y dificultades en la adaptación social. La reducción de materia gris en el lóbulo temporal también se relaciona con una menor capacidad para procesar emociones (Sánchez Vilanova, 2017; García López, 2022).

También se han observado alteraciones tanto en la amígdala como en otras estructuras límbicas. La amígdala tiene un menor volumen en estos individuos, esta estructura es fundamental en el procesamiento de emociones como el miedo y la empatía, por lo que su menor volumen podría contribuir a una respuesta emocional atenuada y una mayor predisposición a comportamientos agresivos (García López, 2022). Asimismo, gracias a la técnica de imágenes por tensor de difusión (DTI), se han encontrado alteraciones en las

conexiones axonales de la materia blanca lo que podría explicar la falta de empatía y el comportamiento impulsivo característico de este trastorno (Lorenzo y Agustina, 2016).

Por otro lado, la neuroimagen funcional ha revelado patrones de actividad cerebral alterados como la hipofunción de la CPF, observándose una actividad reducida en esta área durante tareas que involucran toma de decisiones morales o evaluación de consecuencias, lo que explica la dificultad de las personas con TAP para anticipar las repercusiones de sus actos. También se ha podido ver que la comunicación entre la CPF y la amígdala se encuentra alterada, lo que dificulta la modulación de impulsos emocionales y favorece respuestas agresivas (García López, 2022; Sánchez Vilanova, 2017). Asimismo, es importante mencionar que en estudios con RMf, los individuos con TAP muestran una menor actividad cerebral en el circuito frontotemporal-límbico cuando se enfrentan a dilemas éticos, lo que refuerza su incapacidad para adoptar una conducta conforme a normas sociales (Garzón y Sánchez, 2007; Sánchez Vilanova, 2017).

La evidencia de alteraciones cerebrales estructurales y funcionales sugiere que las personas con TAP pueden tener una capacidad reducida para controlar sus impulsos y anticipar las consecuencias de sus actos. Esto podría ser considerado como un atenuante en contextos legales (García López, 2022).

4.3. Neuroimagen en el trastorno límite de la personalidad (TLP)

El Trastorno Límite de la Personalidad (TLP) se caracteriza por un patrón persistente de inestabilidad emocional, impulsividad, relaciones interpersonales inestables y una imagen de sí mismo distorsionada. Estudios recientes han demostrado que el TLP se caracteriza por alteraciones en las estructuras frontales y límbicas del cerebro, contribuyendo a comportamientos impulsivos y agresivos (Sánchez Vilanova, 2017).

Los hallazgos neurobiológicos sugieren que el TLP está asociado a disfunciones en regiones cerebrales clave para el control emocional y la regulación de impulsos.

Por un lado, la corteza prefrontal (CPF) y, en particular, la región ventromedial de esta, muestra menos actividad en personas con este trastorno. Esto podría explicar por qué tienen dificultades para manejar emociones intensas y controlar impulsos. También se han relacionado con problemas en la toma de decisiones y en el manejo de situaciones estresantes. Además, estudios con resonancia magnética funcional han permitido

observar una menor actividad en la corteza orbitofrontal y en la cingulada anterior, lo que apoya la teoría de un déficit en la conexión entre las áreas frontales y el sistema límbico en el TLP. También se ha observado la reducción del volumen del hipocampo, lo que podría estar relacionado con problemas en la memoria emocional y dificultades para regular el estrés, afectando a la capacidad de adaptación en estas personas (Sánchez Vilanova, 2017).

Por otro lado, en cuanto a la amígdala, se ha observado que responde de manera exagerada a estímulos emocionales negativos, lo que explicaría la alta sensibilidad emocional exagerada y las reacciones intensas que caracterizan este trastorno (García López, 2022). También se han identificado alteraciones en su metabolismo, apoyando la relación entre esta estructura y la impulsividad emocional (Sánchez Vilanova, 2017).

Los estudios con resonancia magnética (RM) han encontrado que, en personas con TLP, hay una reducción en el volumen de la corteza prefrontal, la amígdala y el hipocampo. Esto sugiere que los problemas emocionales y conductuales en este trastorno tienen una base neuroanatómica (Sánchez Vilanova, 2017). Además, la resonancia magnética funcional (RMf) ha mostrado en tiempo real la hiperactividad de la amígdala durante tareas emocionales, lo que refuerza la idea de una hipersensibilidad emocional (García López, 2022).

Por su parte, la tomografía por emisión de positrones (PET) ha señalado alteraciones en la actividad de neurotransmisores como la serotonina, implicados en los problemas de regulación emocional típicos del TLP (Sánchez Vilanova, 2017).

Estos hallazgos indican que las disfunciones en áreas clave del cerebro influyen en la regulación de las emociones y el control de impulsos, dos rasgos fundamentales del TLP. Esto podría tener un impacto en el ámbito legal, ya que estas alteraciones afectan la capacidad racional de quienes viven con este trastorno.

4.4. Neuroimagen en la psicopatía

La psicopatía es un trastorno de la personalidad caracterizado por la falta de empatía y de remordimientos y por comportamientos antisociales. Las técnicas de neuroimagen han permitido estudiar las alteraciones cerebrales asociadas con este trastorno y sus

implicaciones en el comportamiento criminal y la inimputabilidad penal (Harbottle Quirós, 2019; Lynch y Perlin, 2021).

Gracias a la neuroimagen estructural se ha podido observar que hay una reducción del volumen en la amígdala en individuos con psicopatía, lo que se asocia con dificultades para procesar el miedo y tener empatía, dos aspectos clave en la regulación emocional. Asimismo, también se ha podido ver una disminución en el volumen del sistema límbico, al observarse alteraciones en el hipocampo y el cíngulo anterior, estructuras que participan en la regulación emocional y la memoria (Harbottle Quirós, 2019). Finalmente, es importante mencionar que la resonancia magnética estructural (RM) ha mostrado una reducción en la materia gris de la CPF, especialmente en las regiones orbitofrontal y ventromedial, que son clave para el control de impulsos y la toma de decisiones morales (Lara, 2021).

La neuroimagen funcional, por su parte, ha mostrado una desconexión entre la corteza prefrontal y la amígdala, lo que dificulta el control de las respuestas emocionales y puede aumentar el riesgo de tener comportamientos agresivos. Además, la tomografía por emisión de positrones (PET) ha detectado hiperactividad en el sistema de recompensa, lo que podría estar relacionado con comportamientos egocéntricos y una búsqueda constante de gratificación inmediata (Harbottle Quirós, 2019; Lara, 2021). Finalmente, estudios con resonancia magnética funcional (RMf) han evidenciado una actividad reducida en la CPF y la amígdala cuando los individuos realizan tareas relacionadas con juicios morales o procesamiento emocional, lo que podría explicar la indiferencia hacia las normas sociales (Lynch y Perlin, 2021; Lara, 2021).

Los hallazgos neurobiológicos sobre la psicopatía tienen importantes implicaciones en el ámbito legal, ya que las alteraciones en regiones como la amígdala y la corteza prefrontal pueden afectar la capacidad de estos individuos para comprender la ilicitud de sus actos y actuar conforme a esa comprensión. Esto plantea preguntas críticas sobre su responsabilidad penal y la posibilidad de considerar estos factores como atenuantes en procesos judiciales.

4.5.Comparación de los hallazgos neurobiológicos entre diferentes trastornos

Trastorno	Alteraciones Neurobiológicas Detectadas	Técnicas de Neuroimagen Utilizadas	Impacto en la Inimputabilidad
Esquizofrenia	Reducción del volumen cerebral, alteración en la corteza prefrontal, hipocampo y amígdala. Hiperactividad en áreas cerebrales relacionadas con el procesamiento emocional (hiperactividad dopaminérgica).	DTI, RM, PET, RMf, ERM	Alteración de la capacidad de control, desorganización mental, lo que puede influir en la capacidad para distinguir entre lo correcto e incorrecto. Alteración grave de la percepción de la realidad; posible inimputabilidad si afecta juicio y control de conducta.
Trastorno de Personalidad Antisocial (TAP)	Reducción de actividad en la corteza prefrontal ventromedial, la amígdala y otras áreas relacionadas con control de impulsos y toma de decisiones.	RM, RMf, DTI	Puede reducir la capacidad de control inhibitorio y afectividad emocional, lo que podría influir en la inimputabilidad.
Trastorno Límite de la Personalidad (TLP)	Alteración en la corteza prefrontal y estructuras relacionadas con la regulación emocional (hiperactividad de la amígdala).	RM, RMf, PET	Problemas en la regulación emocional y conductas impulsivas, lo que podría reducir la imputabilidad.
Psicopatía	Alteraciones en la corteza prefrontal, hiporreactividad de la amígdala y alteración de otros sistemas cerebrales involucrados en la moralidad y empatía.	RM, PET, RMf	Dificultad para comprender el sufrimiento ajeno y controlar impulsos, lo que podría justificar la inimputabilidad. Aunque, preserva el juicio y voluntad lo que suele considerarle imputable.

5. EL CONCEPTO DE INIMPUTABILIDAD DESDE UN ENFOQUE NEUROBIOLÓGICO Y CRIMINOLÓGICO

5.1. Neuroimagen como herramienta en la evaluación de la inimputabilidad. El uso de neuroimagen en procesos judiciales.

La neurociencia ha cambiado la forma en la que entendemos el comportamiento humano y ha tenido un impacto directo en el ámbito penal al redefinir conceptos como imputabilidad e inimputabilidad. En particular, la neuroimagen se ha vuelto una herramienta clave para analizar la capacidad de las personas acusadas de un delito, ayudando a aportar pruebas más objetivas sobre si realmente son responsables de sus actos.

Gracias a las técnicas de neuroimagen se han podido identificar alteraciones en el cerebro que podrían afectar a la capacidad de una persona para comprender la ilicitud de sus actos o para actuar conforme a esa comprensión. Por eso, algunos expertos consideran que la neurociencia puede aportar bases científicas para determinar si alguien tiene una reducción significativa en su capacidad para delinquir (Sánchez Paez, 2020).

La incorporación de la neuroimagen en el proceso penal ha sido particularmente relevante en la fase de sentencia, ya que en algunos casos se ha utilizado como argumento para reducir la responsabilidad penal de los acusados. Por ejemplo, en el sistema judicial de Estados Unidos, se han presentado pruebas de neuroimagen en casos donde se buscaba evitar la pena de muerte, alegando que ciertas anomalías en el cerebro pueden afectar al control de impulsos o a la comprensión de la ilicitud de sus acciones. Un ejemplo claro de esto es la defensa por insanity, donde la neuroimagen ha servido como prueba en casos en los que se discute si un acusado con un trastorno mental grave es realmente responsable de lo que hizo. En estas situaciones, pruebas como la resonancia magnética funcional (RMf) y la tomografía por emisión de positrones (PET) han permitido a los expertos demostrar alteraciones en el cerebro que podrían justificar una pena menor o incluso medidas de seguridad en vez de prisión (Sánchez Vilanova, 2020).

Pero a pesar de todo el potencial que tiene la neuroimagen en el derecho penal, también genera muchas dudas y críticas. Algunos autores han señalado que interpretar estos estudios de manera demasiado determinista puede hacer que se pierda la idea de que las personas son responsables de sus acciones, lo que podría debilitar el concepto de

culpabilidad (Sánchez Paez, 2020). Además, la neuroimagen no siempre da respuestas claras, ya que la relación entre las anomalías cerebrales y la conducta criminal es muy compleja y depende de muchos factores (Hernández Arguedas, 2015).

Otro problema importante es que no todas las alteraciones en el cerebro implican que alguien no pueda controlar sus acciones. De la misma forma que un cerebro "normal" en la neuroimagen no significa que no pueda sufrir un trastorno mental que influya en su comportamiento (Sánchez Paez, 2020).

5.2. Ejemplos de casos relevantes en la práctica judicial

El uso de la neuroimagen en el ámbito penal ha generado mucho debate, sobre todo en casos donde se ha intentado demostrar que ciertas alteraciones cerebrales pueden afectar la responsabilidad de los acusados.

Uno de los primeros casos conocidos fue el de *People v. Weinstein*, donde el acusado fue procesado por el asesinato de su esposa. La defensa presentó una resonancia magnética (RM) que mostró un quiste aracnoideo en su cerebro, el cual, según ellos, comprimía el tejido cerebral y afectaba el metabolismo de la glucosa, lo que podría haber influido en su capacidad para controlar impulsos. Sin embargo, el jurado rechazó esta prueba porque no encontraron una relación clara entre la lesión y el crimen.

Otro caso significativo es *State v. Grady Nelson*, donde se usaron técnicas de electroencefalografía cuantitativa (qEEG). Aunque fue declarado culpable de asesinato y violación, el jurado decidió no aplicarle la pena de muerte porque las pruebas demostraban que tenía una lesión cerebral severa que podía haber influido en su comportamiento.

Asimismo, en *State v. Marshall*, se analizaron imágenes de resonancia magnética funcional (RMf) que mostraban un daño cerebral en áreas relacionadas con el control de impulsos. Aunque las pruebas fueron aceptadas, el tribunal determinó que, a pesar de ese daño, el acusado había sido capaz de planear y ejecutar su crimen, por lo que no podía considerarse inimputable.

Por otro lado, en *United States v. Semrau*, se intentó usar la neurociencia de una forma diferente: la defensa presentó imágenes de RMf para tratar de demostrar que el acusado

decía la verdad. Sin embargo, el tribunal rechazó esta evidencia debido a la falta de consenso científico sobre la capacidad de la RMf para detectar mentiras.

Finalmente, en el caso *United States v. Kasim* se presentaron pruebas de resonancia magnética (RM), tomografía por emisión de positrones (PET) y electroencefalografía (EEG) para evaluar si el acusado era mentalmente competente para ser juzgado. Aunque el tribunal permitió el uso de estas pruebas, al final no se pudo demostrar que su estado neurológico afectara su capacidad para enfrentarse a un juicio (Sánchez Vilanova, 2020).

En España, uno de los casos más significativos en relación con el uso de neuroimagen es el de Patrick Nogueira, quien en 2016 asesinó a cuatro miembros de su familia en Pioz, Guadalajara. Durante el juicio, la defensa presentó pruebas de neuroimagen para argumentar que sufría una alteración cerebral que afectaba a su toma de decisiones y a su control de impulsos. Se usaron técnicas como la PET y la TAC para intentar justificar una eximente incompleta o, al menos, una atenuante por arrebatu o obcecación. Sin embargo, tanto la Audiencia Provincial de Guadalajara como el Tribunal Superior de Justicia de Castilla-La Mancha y finalmente el Tribunal Supremo rechazaron estos argumentos. Determinaron que, aunque Nogueira tenía algunas anomalías cerebrales, estas no le impedían comprender la ilicitud de sus actos ni actuar conforme a esa comprensión. Además, se destacó que su comportamiento antes, durante y después del crimen mostraba una planificación meticulosa, descartando la idea de un acto impulsivo o incontrolable (Jiménez, 2020).

El jurado del caso también desestimó los argumentos de la defensa basándose en las opiniones de peritos independientes, quienes concluyeron que Nogueira era plenamente consciente de sus actos. La fiscal criticó la estrategia de la defensa, señalando que era un "experimento" y que no había jurisprudencia previa que relacionara un daño cerebral detectado por PET con una inimputabilidad legal. Además, el Tribunal Supremo reprochó a la defensa por no haber presentado a un neurólogo que respaldara su argumento (Requeijo, 2020).

Finalmente, la Sentencia 814/2020 del Tribunal Supremo confirmó y endureció la condena de Nogueira, imponiéndole prisión permanente revisable por los asesinatos de los menores debido a su especial vulnerabilidad. Aunque se reconoció el valor de la neurociencia en el ámbito penal, el Tribunal dejó claro que la simple presencia de una anomalía cerebral no es una excusa automática para librarse de la responsabilidad penal

(Julià-PiJoan, 2022). Esta Sentencia supuso un hito en el uso de la neurociencia en el derecho penal español ya que en ella se reconoció la “revolución científica”, es decir, que la neurociencia está revolucionando la forma en que entendemos el comportamiento humano y, además, se afirmó que las neuroimágenes pueden ser herramientas útiles en la evaluación de la mente criminal. Aun así, el Tribunal advirtió que no se puede interpretar la actividad neuronal de manera determinista, ya que el ser humano no es un “títere del destino” (Requeijo, 2020).

5.3.El impacto de la neuroimagen en el sistema penal

Para poder hablar de cómo la neuroimagen influye en el sistema penal, es importante hablar de dos conceptos clave que entran en debate, el libre albedrío y el determinismo. El libre albedrío hace referencia a la capacidad interna que tenemos los seres humanos de realizar acciones libremente. Una acción es libre cuando la persona que realiza la acción podría haber hecho otra cosa, es decir, debe haber opciones alternativas. Por el contrario, el determinismo se refiere a que todo efecto tiene una causa y a que todo lo que ocurre ahora es el resultado de lo que ocurrió en el pasado, por lo que una persona nunca podría haber hecho algo diferente a lo que hizo (no deja espacio para opciones) y, por tanto, nunca es verdaderamente libre.

Este debate tiene implicaciones directas en el derecho penal porque la culpabilidad se basa en la capacidad de las personas para tomar decisiones libres por lo que, si planteamos que nuestras acciones están completamente determinadas por el cerebro, el concepto de responsabilidad penal tendría que replantearse. Algunos estudios han mostrado que ciertas anomalías cerebrales pueden afectar a la capacidad de las personas para controlar sus impulsos o tomar decisiones. Esto ha llevado a plantearse si la neurociencia puede redefinir la noción de libre albedrío dentro del derecho penal. Sin embargo, la mayoría de los expertos creen que no se trata de una cuestión de "todo o nada", sino que la capacidad de elección puede estar influida por múltiples factores como la genética o las experiencias vividas.

Las técnicas de neuroimagen han permitido identificar condiciones neurobiológicas que pueden estar relacionadas con el comportamiento delictivo. En algunos casos, esto ha llevado a que pruebas de neuroimagen sean utilizadas en los

tribunales como argumento a favor de la inimputabilidad o para reducir la pena. Sin embargo, es importante no caer en el neurodeterminismo, que es la idea de que el comportamiento humano está completamente controlado por la biología y que las personas no tienen ninguna responsabilidad sobre sus actos (Triviño Burbano, 2024).

Una posible solución para evitar estos dos extremos es adoptar una postura intermedia que reconozca la influencia del cerebro en el comportamiento sin negar la capacidad de elección. La neuroimagen puede utilizarse para aportar información sobre las condiciones mentales de un acusado, pero siempre interpretándose con precaución. De esta forma, podría utilizarse la evidencia neurocientífica como un factor atenuante en lugar de como una eximente total (Lorenzo y Agustina, 2016).

5.4.Perspectivas futuras

En la actualidad, el uso de las técnicas de neuroimagen para demostrar la inimputabilidad de un individuo es muy limitado y, en el caso de España, no se ha podido encontrar ningún caso en el que algún individuo haya sido declarado inimputable por los hallazgos encontrados en ellas. Sin embargo, estas técnicas podrían usarse para la prevención del crimen y la rehabilitación de delincuentes.

La neuropredicción, que utiliza el análisis de ciertas áreas del cerebro para prever comportamientos futuros, ha mostrado resultados prometedores en la predicción de conductas violentas (Morse, 2015). Por ejemplo, algunos estudios dicen que personas con baja activación en zonas cerebrales como la corteza cingulada anterior, que controla los impulsos, tienen más probabilidades de reincidir en delitos (Koenings, 2012). Además, se ha encontrado que problemas en áreas como la amígdala o la corteza prefrontal orbitofrontal, relacionadas con la regulación emocional y el control de la agresividad, podrían estar conectadas con una mayor tendencia a la violencia (Sepúlveda y Moreno, 2017).

Aunque estas investigaciones parecen prometedoras, también existen limitaciones, como la dificultad para interpretar las imágenes cerebrales y la necesidad de análisis más detallados y replicados para que los resultados sean realmente útiles. A pesar de estas complicaciones, combinar estos datos con métodos tradicionales de evaluación de riesgo

podría mejorar la precisión de las predicciones y ofrecer una evaluación más completa del riesgo de comportamiento violento (Coronado González, 2021).

Además, es importante mencionar que el uso de técnicas de neuroimagen para predecir comportamientos violentos podría caer en una postura determinista y en algunos casos podrían aparecer problemas relacionados con la privacidad de las personas.

Por otro lado, también se podría hacer uso de tratamientos como la estimulación cerebral profunda (ECP), una técnica que ha demostrado ser útil en la regulación de la agresividad y que consiste en la implantación, mediante intervención quirúrgica, de electrodos en el cerebro que administren descargas eléctricas leves en áreas específicas con el objetivo de eliminar los impulsos agresivos. Además, también se ha estudiado la combinación de la ECP con neurofarmacología para desarrollar sistemas híbridos de intervención (Lara, 2020).

Sin embargo, debido a que la agresividad puede deberse a múltiples factores, sería fundamental evaluar con precisión los efectos de estos tratamientos para evitar modificaciones indeseadas en la identidad personal o en la autonomía de la persona tratada (Lara, 2020).

6. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

El presente trabajo ha permitido examinar cómo las técnicas de neuroimagen influyen en el estudio de los trastornos mentales y su relación con la inimputabilidad en el ámbito criminológico y legal. A partir de una revisión exhaustiva de la literatura científica, se han identificado los hallazgos neurobiológicos más relevantes relacionados con diversos trastornos mentales, así como sus implicaciones en el sistema de justicia penal.

Las técnicas de neuroimagen son herramientas útiles para identificar tanto alteraciones estructurales como funcionales en el cerebro, ofreciendo información crucial sobre cómo ciertas patologías pueden estar asociadas con conductas delictivas. Sin embargo, aún existe un gran debate sobre su fiabilidad en el contexto judicial, ya que la interpretación de estas imágenes puede ser subjetiva y no siempre se puede establecer una relación causal entre una anomalía cerebral y la comisión de un delito. Además, la complejidad del comportamiento humano y la influencia de factores sociales y

ambientales hacen que la neuroimagen, por sí sola, no pueda servir como una prueba definitiva para la inimputabilidad.

El análisis de los trastornos mentales mediante el uso de técnicas de neuroimagen ha permitido descubrir alteraciones cerebrales que son específicas de patologías como la esquizofrenia, el trastorno antisocial de la personalidad, el trastorno límite de la personalidad y la psicopatía. En general, se han observado disfunciones en áreas como la corteza prefrontal, la amígdala y el sistema límbico, que son fundamentales para la regulación emocional y el control de los impulsos.

Las principales ventajas de utilizar la neuroimagen en criminología son numerosas. Por un lado, proporciona evidencia objetiva sobre el estado neurobiológico de los acusados y, por otro lado, ayuda a diferenciar entre distintos trastornos mentales y también tiene el potencial de mejorar las estrategias de rehabilitación y prevención del delito. Sin embargo, todavía existen importantes desafíos, como la variabilidad en la interpretación de las imágenes, la necesidad de contar con expertos altamente capacitados y la falta de consenso sobre cómo las anomalías cerebrales influyen en las conductas delictivas.

En los últimos años, el uso de la neuroimagen en los procesos judiciales ha cobrado una gran relevancia, especialmente cuando se trata de determinar la responsabilidad penal del acusado. En casos como el de Patrick Nogueira, los tribunales han revisado pruebas neurocientíficas para evaluar si las anomalías cerebrales detectadas afectaron a la capacidad del acusado para comprender y controlar sus actos. No obstante, la jurisprudencia ha adoptado una postura cautelosa, exigiendo que los hallazgos en neuroimagen sean respaldados por otras pruebas periciales y evitando su uso determinista para justificar la inimputabilidad del acusado.

En cuanto al futuro de la neurociencia, los avances de esta seguirán impactando en la justicia penal, especialmente en la evaluación de la inimputabilidad y la creación de políticas para prevenir y tratar la delincuencia. Es probable que, en el futuro, se creen técnicas de neuroimagen más precisas y accesibles y marcos legales más claros para su aplicación.

Finalmente, es importante destacar que este trabajo ha cumplido con los objetivos planteados al inicio. Se ha logrado analizar el impacto de las técnicas de neuroimagen en la comprensión neurobiológica de los trastornos mentales, destacando las áreas cerebrales

más afectadas en distintas patologías. Asimismo, se ha examinado la relación entre las alteraciones neurobiológicas y las conductas criminales, evaluando su influencia en la inimputabilidad desde una perspectiva legal y criminológica. También se ha evaluado la fiabilidad de las técnicas de neuroimagen en la justicia penal, resaltando sus limitaciones y ventajas. Finalmente, se ha discutido el futuro de la neurociencia en la criminología y el derecho penal, subrayando la necesidad de un marco regulador que permita su aplicación ética y eficaz.

BIBLIOGRAFÍA

- Alarcón, J. S., Téllez Alanís, B., & Rivera Ramírez, E. (2023). El TDAH asociado a conductas delictivas en adolescentes latinoamericanos y españoles: revisión del estado del arte: El TDAH y delincuencia en adolescentes. *Neuropsicología Latinoamericana*, 15(1), 45–55. https://www.neuropsicolatina.org/index.php/Neuropsicologia_Latinoamericana/article/view/785.
- Astudillo González, M., & Fajardo Delgado, C. (2023). Perfil psicológico criminal y prevalencia de los trastornos mentales asociados a los asesinos seriales. <https://dspace.ucacue.edu.ec/handle/ucacue/16329>
- BOE-A-1995-25444 Ley Orgánica 10/1995, de 23 de noviembre, del Código Penal. (1995, 23 noviembre). <https://www.boe.es/eli/es/lo/1995/11/23/10/con>
- Coronado González, B. (2021). Aportación de la neurociencia a la predicción de la conducta violenta. Universidad Pontificia de Comillas. <https://repositorio.comillas.edu/xmlui/bitstream/handle/11531/46609/TFG%20Coronado%20Gonzalez%2C%20Beatriz%20de%20Silva.pdf?sequence=1>
- Chamizo Molero, A. & Rivera Urbina, G. N. (2012). Cerebro y Comportamiento: Una Revisión. *Revista Argentina De Ciencias Del Comportamiento*, 4(2), 75-89. <https://doi.org/10.32348/1852.4206.v4.n2.5175>
- Crespo Facorro, B. (2011). Conociendo el cerebro, avanzando en la curación de las enfermedades mentales. *Pasaje a la ciencia*, ISSN 1699-6305, Nº. 14, 54-57
- Cuevas-Esteban J, Campayo A, Gutiérrez-Galve L, Gracia-García P, López-Antón R. (2011). Fundamentos y hallazgos de la neuroimagen en la esquizofrenia: una actualización. *Rev Neurol*, 52, 27-36. DOI: [10.33588/rn.5201.2008466](https://doi.org/10.33588/rn.5201.2008466)
- Gao, Y., Glenn, A.L., Schug, R.A., Yang, Y. y Raine, A.R. (2009). The Neurobiology of Psychopathy: A Neurodevelopmental Perspective. *Can. J. Psychiatry*, 54(12), 815. DOI: [10.1177/070674370905401204](https://doi.org/10.1177/070674370905401204)
- García López, E. (2022). *Psicopatología forense: Comportamiento humano y tribunales de justicia*. Editorial El Manual Moderno.

- Garzón, Á. M., & Sánchez, J. A. (2007). Personalidad antisocial. Factores neurobiológicos del trastorno. *Revista Psicología Científica.com*, 9(19).
- Greene, J.D., Sommerville, R.B., Nystrom, L.E., Darley, J.M. y Cohen, J.D. (2001). An fMRI investigation of emotional engagement in moral judgment. *Science*, 293(5537), 2105–2108.
- Harbottle Quirós, F. (2019). Psicopatía y capacidad de culpabilidad: un acercamiento al debate actual. *Revista Medicina Legal de Costa Rica*, 36(1), 135-146.
- Hernández Arguedas, F. (2015). La imputabilidad e inimputabilidad desde el punto de vista médico legal. *Medicina Legal de Costa Rica*, 32(2).
- Jiménez, C. (2020). Entre la neurociencia y el derecho penal: breve estudio de las sentencias del crimen de Pioz. *Revista Mexicana de Ciencias Penales*, 3(12), 131-159. DOI: [10.57042/rmcp.v3i12.370](https://doi.org/10.57042/rmcp.v3i12.370)
- Julià-PiJoan, M. (2022). Sobre la valoración judicial de las neuroimágenes, a propósito de la sentencia del tribunal supremo español 814/2020, de 5 de mayo. *Revista chilena de derecho*, 49(3), 193–219. <http://dx.doi.org/10.7764/r.493.8>
- Koenigs, M. (2012). The role of prefrontal cortex in psychopathy. *Neuroscience*, 23(3), 253-262. DOI: 10.1515/revneuro-2012-0036
- Lara, F. (2021). Biomejora moral de delincuentes psicópatas. Tecnologías y aspectos éticos = Moral Bioenhancement of Psychopathic Offenders.: Technological and Ethical Aspects. *Política Criminal: Revista Electrónica Semestral de Políticas Públicas En Materias Penales*, 16(31), 14. <https://doi.org/10.4067/s0718-33992021000100381>
- Lorenzo, F. y Agustina, J.R. (2016). Sobre el confuso concepto de psicopatía en la jurisprudencia del Tribunal Supremo español: una revisión crítica ante los nuevos retos del Derecho penal de la peligrosidad. *Polít. crim.* 11(21), Art. 4, 66-103. <https://doi.org/10.4067/s0718-33992016000100004>
- Lynch, A. J., & Perlin, M. L. (2021). "I See What Is Right and Approve, but I Do What Is Wrong": Psychopathy and Punishment in the Context of Racial Bias in the Age of Neuroimaging. *Lewis & Clark L. Rev.*, 25, 453. <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.3747133>

- Maestú, C., Gómez-Utrero, E., Piñeiro, R., & Sola, R. G. (1999). Magnetoencefalografía: una nueva técnica de diagnóstico funcional en neurociencia. *Rev Neurol*, 28(11), 1077-1090.
- Martínez Díaz, T., López Blanco, F., Díaz Fernández, ML. (2001). Los trastornos de la personalidad en el derecho penal: estudio de casos del tribunal supremo. *Psicopatología Clínica, Legal y Forense*, 1(1), 87-101.
- Morse, S. J. (2015). Neuroprediction: new techonology, old problems. *Faculty Scholarship at Penn*, 8(4), 128-129. https://scholarship.law.upenn.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=2620&context=faculty_scholarship
- Ortega Rodríguez, M. A. (2021). Neurociencias y Conducta Violenta. *Revista de Análisis Transaccional*.
- Ortuño, F., Soutullo, C., Pla, J., Molero, P., Landecho, I., & Rapado, M. (2005). Avances de la investigación biológica en la esquizofrenia: aportaciones de neuroimagen funcional. *Universidad de Navarra*, 49(2), 16-23.
- Parellada, E. y Bernardo, M. (2000). Lóbulo frontal y esquizofrenia. *Psiquiatría Biológica*, 7(3), 115-122.
- Parra-Bolaños, N. (2015). Impacto de las técnicas de neuroimagen en las ciencias sociales. *Revista chilena de neuropsicología*, 10(1), 31-37. DOI:[10.5839/rcnp.2015.10.01.07](https://doi.org/10.5839/rcnp.2015.10.01.07)
- Reed, G. M., & Ayuso-Mateos, J. L. (2011). Hacia una clasificación Internacional de los Trastornos Mentales de la OMS de mayor utilidad clínica. *Revista de psiquiatría y salud mental*, 4(3), 113-116.
- Requeijo, A. (2020). *El Supremo avala la “revolución neurocientífica” para estudiar mentes criminales*. Vozpópuli. https://www.vozpopuli.com/espana/supremo-neurociencia-mentes-criminales_0_1353165976.html
- Saiz Ruiz, J., De la Vega Sánchez, D. C., & Sánchez Páez, P. (2010). Bases neurobiológicas de la Esquizofrenia. *Clínica y Salud*, 21(3), 235-254. <https://doi.org/10.5093/cl2010v21n3a3>

- Salvatierra, A. (2021). Nociones básicas en técnicas de Neuroimagen y Electroencefalograma. *Neurama*, 8(1), 25-37.
- Sandín, B. (2013). DSM-5: ¿Cambio de paradigma en la clasificación de los trastornos mentales?. *Revista de psicopatología y psicología clínica*, 18(3).
- Sánchez Paez, L.D. (2020). Neurociencia e inimputabilidad en el sistema de justicia penal acusatorio. *Revista Mexicana de Ciencias Penales*, 3(12), 161-174. DOI: [10.57042/rmcp.v3i12.371](https://doi.org/10.57042/rmcp.v3i12.371)
- Sánchez Vilanova, M. (2017). ¿Neuroimputabilidad? Una mirada interdisciplinar a la responsabilidad y tratamiento jurídico-penal de los trastornos de la personalidad desde los avances de la neurociencia. *Universidad de Valencia*.
- Sánchez Vilanova, M. (2020). Primeros pasos de la neuroimagen en el proceso penal estadounidense. *Política Criminal*, 15(29), 230-258. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-33992020000100230>
- Sepúlveda, E., y Moreno, J. E. (2017). Psicobiología de la agresión y la violencia. *Revista Iberoamericana de Psicología*, 10 (2), 157-166. <https://doi.org/10.33881/2027-1786.rip.10206>
- Solé Arrondo, M. E. (2002). La clasificación internacional de los trastornos mentales y del comportamiento. *Revista cubana de psicología*, 19(3).
- Triviño Burbano, M.V. (2024). Neurociencia y sus Campos de Acción. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 8 (4), 10-12. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v8i4.12228
- Zabala Baños, M. C. (2016). *Prevalencia de trastornos mentales en prisión: análisis de la relación con delitos y reincidencia*. <https://hdl.handle.net/20.500.14352/26808>