

Neurociencia Clínica de Hoy: Puente entre la Investigación y la Práctica Médica



Ana Lucia Aucancela Yapud
Héctor Antonio León Llanos

Biomarcadores en el Diagnóstico Precoz del Alzheimer

Ana Lucia Aucancela Yapud

Magister en Salud Ocupacional UEES

Médico General ESPOCH.

*Médico Residente del Servicio de Emergencia del Hospital de
Especialidades Alfredo Paulson*

Introducción

El uso de biomarcadores en la detección precoz del alzhéimer resulta crucial para perfeccionar la exactitud de los métodos diagnósticos y el abordaje terapéutico de esta dolencia tan grave. Estudios recientes apuntan a que las evaluaciones del habla, tal y como se diseñaron en el proyecto AMYPRED, pueden anticipar la enfermedad de forma efectiva mediante el análisis de características lingüísticas y acústicas, logrando una precisión considerable, con un área bajo la curva que oscila entre 0.71 y 0.84 en

distintos grupos de pacientes Albala et al. 2024. Por otro lado, se ha encontrado que las modificaciones metabólicas observadas en personas con síndrome de Down que manifiestan síntomas de alzhéimer son parecidas a las que se identifican en pacientes con alzhéimer de inicio tardío, lo que insinúa que los marcadores metabólicos podrían ser útiles para valorar el diagnóstico y la evolución de la enfermedad Alzheimer's Consortium B-Syndrome D (ABC-DS) Investigators et al. 2020. Todos estos avances subrayan la relevancia de un enfoque multidisciplinar para mejorar el diagnóstico temprano del alzhéimer.

Definición de biomarcadores y su importancia en la medicina

La importancia de definir biomarcadores ha crecido en medicina, sobre todo para el diagnóstico precoz de males neurodegenerativos como el Alzheimer. Estos biomarcadores —sean indicadores genéticos, moleculares o metabolómicos— son cruciales para

entender la patología de la enfermedad. Identificarlos permite un diagnóstico más certero y una mejor estratificación de los pacientes, lo que facilita tratamientos personalizados. En el Alzheimer, la detección temprana mediante estos biomarcadores puede mejorar la calidad de vida del paciente y preparar a la familia, considerando que aún no hay cura Berestetska et al. 2023. La investigación en biomarcadores multimodales y las tecnologías de alta capacidad han progresado en la búsqueda de perfiles patofisiológicos homogéneos que informen trayectorias clínicas individuales Badhwar et al. 2020. Generalmente hablando, este enfoque ayuda a comprender mejor la enfermedad.

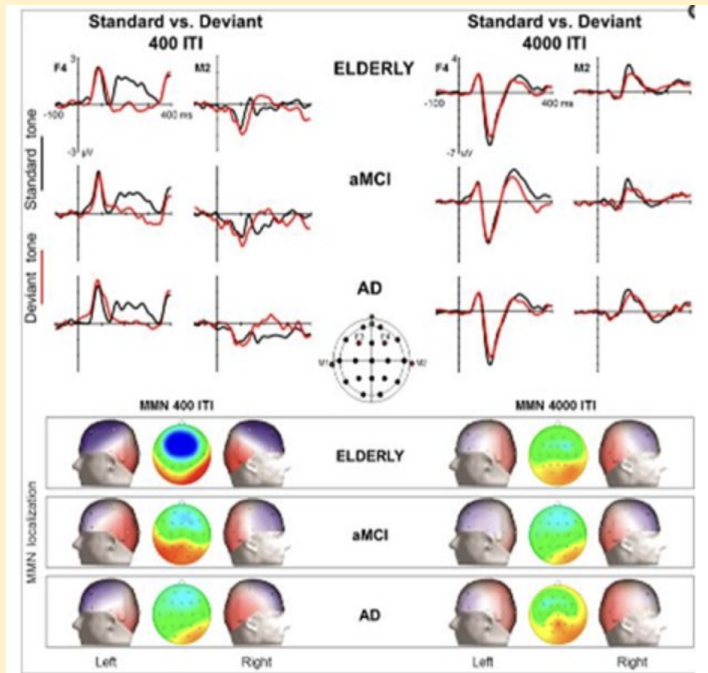


Imagen 1. Comparación de los potenciales evocados auditivos (MMN) entre adultos mayores sanos (Elderly), pacientes con deterioro cognitivo leve amnésico (aMCI) y pacientes con enfermedad de Alzheimer (AD), bajo condiciones de intervalos inter-trial cortos (400 ms) y largos (4000 ms). Se observa una reducción progresiva de la respuesta MMN y una distribución topográfica alterada en pacientes con deterioro cognitivo.

Resumen de la enfermedad de Alzheimer y la importancia del diagnóstico temprano

La enfermedad de Alzheimer (EA), un reto importante para pacientes y sanitarios, subraya la

importancia de un diagnóstico temprano para aplicar intervenciones eficaces. Dado que la EA progresa de forma asintomática, la detección de biomarcadores podría ser crucial para identificar esta patología neurodegenerativa en sus inicios. De hecho, estudios han sugerido que síntomas depresivos en personas mayores podrían indicar un mayor riesgo de demencia, convirtiéndose en un posible indicador precoz de la EA Baeken et al. 2020. Adicionalmente, investigaciones recientes han considerado las alteraciones retinianas como posibles biomarcadores no invasivos para el diagnóstico temprano del Alzheimer, resaltando la relevancia de estudiar estos indicadores en las fases iniciales de la enfermedad Aldana et al. 2023. Por todo esto, un diagnóstico anticipado, generalmente hablando, no solo optimiza las opciones de tratamiento, sino que también ofrece un panorama más optimista para pacientes y sus familias... un enfoque esperanzador.

Tipos de biomarcadores en Alzheimer

La identificación y clasificación de biomarcadores en la enfermedad de Alzheimer, esencial para un diagnóstico precoz y una intervención apropiada, se basa principalmente en tres categorías: estructurales, funcionales y bioquímicos. Los biomarcadores estructurales, fundamentalmente las imágenes por resonancia magnética, posibilitan la visualización de alteraciones en la anatomía del cerebro, como la atrofia del hipocampo, un indicativo temprano de la enfermedad. En cambio, los biomarcadores funcionales se vinculan con la actividad neuronal y pueden incluir técnicas como la tomografía por emisión de positrones (PET) que muestra patrones de acumulación de amiloides; estos patrones, generalmente hablando, son muy relevantes. Finalmente, los biomarcadores bioquímicos – que incluyen la evaluación de marcadores en el líquido cefalorraquídeo – ofrecen información sobre la degeneración neuronal y la presencia de tau. Estos biomarcadores resultan

esenciales para establecer conexiones entre cambios clínicos y hallazgos patológicos, como se observa en los estudios que correlacionan los síntomas neurológicos con alteraciones estructurales y vasculares en pacientes con deterioro cognitivo leve Azzarello et al. 2020 y en investigaciones sobre la relación entre la depresión y la demencia Baeken et al. 2020. En la mayoría de los casos, esta correlación ayuda en el proceso de diagnóstico.

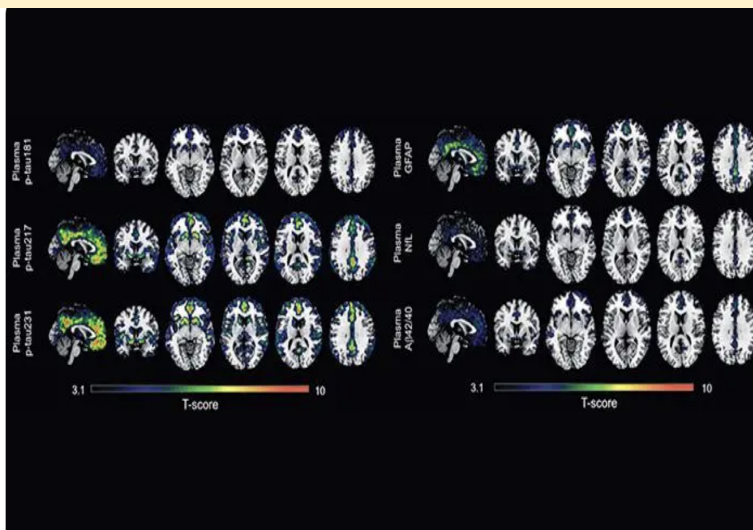


Imagen 2. Mapas cerebrales que muestran la asociación entre diferentes biomarcadores plasmáticos (p-tau181, p-tau217, p-tau231, GFAP, NfL, Aβ42/40) y patrones de neurodegeneración cerebral en pacientes con sospecha de enfermedad de Alzheimer. Los colores representan valores T de significancia estadística en distintas regiones cerebrales.

Biomarcadores biológicos: proteínas beta-amiloides y tau

La búsqueda de marcadores biológicos, sobre todo las proteínas beta-amiloide y tau, ha ganado mucha importancia en el diagnóstico precoz del Alzheimer (EA). Estas proteínas, centrales en la patología

neurodegenerativa, se hallan en el líquido cefalorraquídeo (LCR), y su análisis a veces ayuda a un diagnóstico más preciso del deterioro cognitivo leve o demencia por EA. De hecho, se han creado métodos para encontrar estos marcadores en la sangre, lo que aumenta su uso clínico Blennow et al. 2021. También, los estudios señalan que los problemas del sueño, habituales en las enfermedades neurodegenerativas, podrían estar relacionados con cambios en estos biomarcadores, lo que apoya la idea de que alteraciones en los niveles de beta-amiloide y tau a veces indican un proceso neurodegenerativo que aún no es evidente Chatterjee et al. 2024. Por esto, la combinación del análisis de biomarcadores tal vez sea un elemento fundamental en la estrategia para actuar pronto contra la EA.

Biomarcadores de neuroimagen: técnicas PET y MRI

La integración de biomarcadores derivados de la neuroimagen, pensemos en la PET y la MRI, ha significado un cambio radical en el diagnóstico precoz del Alzheimer (EA). Estos métodos nos dan la posibilidad de observar con detalle las alteraciones patológicas cerebrales, lo que hace más fácil identificar biomarcadores importantes que se relacionan con cómo avanza la enfermedad. Como señala Klén et al. 2024, diferentes investigaciones que usan tanto la resonancia magnética estructural como la PET han revelado una precisión notable al clasificar la EA y al predecir su avance desde un deterioro cognitivo leve. Por otro lado, Liu et al. 2024 subraya que, si bien se esperaba que combinar diferentes modalidades de neuroimagen daría como resultado una mejora importante en la exactitud del diagnóstico, los datos no siempre confirman esta idea. Esto pone de manifiesto la importancia de desarrollar estrategias novedosas que integren de

forma eficaz estos biomarcadores, optimizando su aplicación en la práctica clínica y favoreciendo un diagnóstico más exacto en las primeras fases de la enfermedad.

El papel de los biomarcadores genéticos

La búsqueda de biomarcadores genéticos se ha vuelto crucial en la investigación del Alzheimer, especialmente para su diagnóstico precoz, pues ofrecen la posibilidad de anticipar la evolución de la enfermedad incluso antes de que aparezcan síntomas clínicos notorios. Estos biomarcadores, en esencia, brindan una vía más directa para detectar alteraciones patológicas vinculadas a la enfermedad, como la acumulación de placas de amiloide, un proceso que a menudo es detectable en las etapas iniciales. Un ejemplo ilustrativo es el estudio del gen FAM222A, que ha revelado una posible conexión entre este gen y la atrofia cerebral en personas con Alzheimer, lo que implica que su análisis podría mejorar la identificación temprana

de individuos en riesgo Initiative ADN et al. 2020. De forma similar, estudios recientes han puesto de relieve alteraciones compartidas en ciertas vías metabólicas entre el síndrome de Down y el Alzheimer de inicio tardío, abriendo nuevas perspectivas para la creación de biomarcadores diagnósticos efectivos Alzheimer's Consortium B-Syndrome D (ABC-DS) Investigators et al. 2020.

Predisposición genética: alelo APOE ϵ 4 y sus implicaciones

La susceptibilidad al Alzheimer, en particular, se ve fuertemente influenciada por la predisposición genética, y el alelo APOE ϵ 4 emerge como un factor de peso, brindando información valiosa para el diagnóstico precoz, generalmente hablando. Este alelo, cuya presencia incrementa el riesgo de desarrollar la enfermedad, también se ha vinculado a una carga patológica más notable, especialmente en mujeres, quienes, en la mayoría de los casos, muestran niveles elevados de amiloides y atrofia de

materia gris en comparación con los hombres Aisen et al. 2023. Paralelamente, el incremento proyectado de la demencia, que se espera que se duplique, remarca la importancia de centrarse en estos biomarcadores genéticos para la identificación y gestión tempranas Rowcliffe et al. 2023. Por lo tanto, la comprensión del alelo APOE ε4 se convierte en un aspecto crítico para el desarrollo de estrategias de intervención y pronóstico en la población en riesgo; este entendimiento, a su vez, podría facilitar mejores enfoques terapéuticos. Así, entender las implicaciones del alelo APOE ε4 se convierte en un aspecto crítico para desarrollar estrategias de intervención y pronóstico en la población en riesgo..

Nuevos biomarcadores genéticos y su potencial en la detección temprana

La búsqueda de biomarcadores genéticos novedosos supone un progreso notable en la identificación precoz del Alzheimer, posibilitando una visión más comprensiva de su heterogeneidad neuropatológica.

Investigaciones recientes apuntan a que, aparte de los marcadores habituales, ciertos biomarcadores como FAM222A [extractedKnowledge3] podrían jugar un rol esencial en la evolución de la atrofia cerebral ligada al Alzheimer. Este gen, que presenta una expresión incrementada en muestras de tejido encefálico de personas con Alzheimer, se asocia a la agregación de amiloide- β , que es típica de la enfermedad. Al ofrecer datos sobre la vulnerabilidad selectiva de redes cerebrales concretas, estos biomarcadores genéticos no solo ayudan a realizar diagnósticos más certeros en fases tempranas, sino que también hacen más accesible la participación en ensayos clínicos, que son cruciales para el desarrollo de terapias individualizadas Apostolova et al. 2021. La incorporación de estos avances en biomarcadores en la práctica médica podría transformar la gestión y la comprensión de la enfermedad Initiative ADN et al. 2020 en general.

Aplicaciones clínicas y desafíos

El progreso en hallar biomarcadores que permitan diagnosticar la enfermedad de Alzheimer en sus primeras fases ofrece un potencial considerable para su aplicación clínica, aunque no está exento de retos. Por un lado, los biomarcadores podrían posibilitar una detección más certera y a tiempo, lo que facilitaría tratamientos precoces capaces de hacer más lenta la evolución de la enfermedad. Como ejemplo, algunos estudios recientes señalan que los metabolitos presentes en la sangre de personas con síndrome de Down pueden indicar alteraciones metabólicas parecidas a las que se ven en la enfermedad de Alzheimer. Esto sugiere que biomarcadores concretos podrían ser de gran utilidad para clasificar a los pacientes según la fase de la enfermedad en que se encuentren Alzheimer's Consortium B-Syndrome D (ABC-DS) Investigators et al. 2020. No obstante, la puesta en práctica de estos biomarcadores en la clínica se topa con problemas como la interoperabilidad de los

sistemas y la protección de los datos; aspectos que demandan atención y desarrollo para optimizar su utilidad clínica Chen et al. 2025. En general, el avance es prometedor, pero requiere resolver ciertos desafíos.

Criterios diagnósticos actuales y la integración de biomarcadores

El avance en los criterios para diagnosticar la enfermedad de Alzheimer ha ido integrando el uso de biomarcadores. Esto permite una detección temprana más afinada y, digamos, individualizada. Las puntuaciones de riesgo poligénico han resultado ser cruciales para entender los mecanismos moleculares que explican la variedad en cómo se manifiesta la enfermedad. Por ejemplo, la identificación de grupos de rutas relacionadas con la enfermedad se correlaciona con biomarcadores como los niveles alterados de amiloide y tau Elman et al. 2023. Además, los biomarcadores sanguíneos se han revelado como

herramientas valiosas para detectar la patología de Alzheimer, fundamentalmente por su fácil acceso y coste moderado. No obstante, su uso extendido en la práctica clínica precisará un esfuerzo considerable en estandarización y capacitación del personal Alcolea et al. 2024. En general, la integración de estos biomarcadores podría aumentar la exactitud del diagnóstico y favorecer tratamientos a tiempo.

Consideraciones éticas y desafíos en la implementación de biomarcadores

La adopción de biomarcadores en el diagnóstico precoz del Alzheimer conlleva consideraciones éticas y retos que ameritan un análisis detallado para asegurar su eficacia y viabilidad en la práctica clínica. Un desafío primordial reside en la ausencia de guías uniformes para la evaluación cognitiva, lo cual podría ocasionar interpretaciones erróneas de los resultados de los biomarcadores, impactando la atención al paciente (Anderson et al. 2024).

Adicionalmente, es esencial manejar éticamente los resultados de las pruebas, pues la posibilidad de causar ansiedad en los pacientes y sus familias puede dificultar la decisión de establecer un diagnóstico temprano. Es importante, por otro lado, reconocer la importancia de los estudios que combinan diversas técnicas de neuroimagen y biomarcadores. La aplicación de la inteligencia artificial en este campo, como se destaca en Klén et al. 2024, aunque promete perfeccionar el diagnóstico, presenta obstáculos en la estandarización de datos y la interpretabilidad de los modelos. Generalmente hablando, estos aspectos deben ser abordados para una implementación responsable.

Conclusión

En resumen, la detección precoz de biomarcadores en la enfermedad de Alzheimer resulta fundamental para perfeccionar los procedimientos diagnósticos y, a fin de cuentas, la calidad de vida de quienes la

padecen. Los progresos recientes en aprendizaje automático (o *machine learning*) han probado ser instrumentos valiosos en este campo, facilitando la extracción de rasgos distintivos y la clasificación de la enfermedad con una precisión notable, tal y como se constató en investigaciones que examinaron métodos de aprendizaje profundo y su aplicación en la detección del Alzheimer Balakrishnan et al. 2023. Por otro lado, la conexión entre irregularidades neurológicas discretas y las imágenes cerebrales pone de relieve la complejidad inherente a esta patología, en la que elementos como la atrofia subcortical y la aparición de hiperintensidades en la sustancia blanca tienen relevancia en diversos tipos de deterioro cognitivo leve Azzarello et al. 2020. Por lo tanto, la dirección futura de la investigación debería enfocarse en la integración de estas tecnologías con el objetivo de simplificar diagnósticos más tempranos y certeros en personas con riesgo de desarrollar Alzheimer.

Resumen de la importancia de los biomarcadores en el diagnóstico temprano

En neurología, la detección precoz del Alzheimer se ha vuelto un objetivo fundamental, y aquí los biomarcadores son cruciales. Estos indicadores biológicos pueden darnos información valiosa sobre procesos patológicos incluso antes de que aparezcan síntomas clínicos claros, permitiendo una intervención temprana y más efectiva. En este contexto, el estudio de metabolitos en personas con síndrome de Down, quienes tienen un riesgo alto de desarrollar Alzheimer, ha evidenciado que ciertas alteraciones metabólicas son predecibles y se correlacionan con las distintas fases de la enfermedad. Esto refuerza la importancia de los biomarcadores en la evaluación del deterioro cognitivo Alzheimer's Consortium B-Syndrome D (ABC-DS) Investigators et al. 2020. Adicionalmente, la conexión entre síntomas depresivos y el riesgo de demencia implica que los biomarcadores podrían servir para identificar individuos en riesgo,

facilitando un diagnóstico más exacto y oportuno Baeken et al. 2020. Generalmente hablando, esta interrelación subraya la necesidad de investigar a fondo el potencial de los biomarcadores.

Direcciones futuras para la investigación y la práctica clínica en el diagnóstico de Alzheimer

En el futuro, la investigación sobre el diagnóstico del Alzheimer debería, generalmente hablando, prestar especial atención a la identificación y validación de biomarcadores accesibles. Estos biomarcadores podrían asistir en la detección temprana de la enfermedad, y un enfoque que parece prometedor es el análisis de la saliva. Medir biomarcadores de Alzheimer en saliva podría simplificar el cribado en poblaciones subatendidas, mejorando la precisión diagnóstica Ajalo et al. 2024. Es importante destacar que iniciativas como la Australian Dementia Network (ADNeT) ponen de manifiesto la necesidad de unir a investigadores, clínicos, y personas con experiencia vivida con la

enfermedad para así transformar la atención y el diagnóstico de la demencia. ADNeT, a través de registros clínicos y clínicas de memoria, está impulsando la innovación en el diagnóstico temprano y en la implementación de tratamientos emergentes, algo que subraya la necesidad de invertir en futuras investigaciones y en la armonización de protocolos clínicos Ahern et al. 2023. La cooperación interdisciplinaria, en la mayoría de los casos, será esencial para abordar esta compleja enfermedad de manera efectiva.

Bibliografías

1. Albala, Bruce, Fristed, Emil, Meepegama, Udeepa, Miller, et al. 2024, "Storyteller in ADNI4: Application of an early Alzheimers disease screening tool using brief, remote, and speech-based testing." eScholarship, University of California, doi: <https://core.ac.uk/download/622529212.pdf>
2. Alzheimer's Biomarkers Consortium–Down Syndrome (ABC-DS) Investigators, Cheema,

- Amrita K, Christian, Bradley T, Gross, Thomas J, et al. 2020, "Metabolic correlates of prevalent mild cognitive impairment and Alzheimer's disease in adults with Down syndrome." eScholarship, University of California, doi: <https://core.ac.uk/download/323075643.pdf>
3. Baeken, Chris, Engelborghs, Sebastiaan, Wiels, Wietse 2020, "Depressive symptoms in the elderly : an early symptom of dementia? A systematic review" 'Frontiers Media SA', doi: <https://core.ac.uk/download/287939499.pdf>
4. Alzheimer's Biomarkers Consortium–Down Syndrome (ABC-DS) Investigators, Cheema, Amrita K, Christian, Bradley T, Gross, Thomas J, et al. 2020, "Metabolic correlates of prevalent mild cognitive impairment and Alzheimer's disease in adults with Down syndrome." eScholarship, University of

California, doi:
<https://core.ac.uk/download/323075643.pdf>

5. Balakrishnan, Nair Bini, Panackal, Jisha Jose, Sreeja, P. S. 2023, "Alzheimers Disease Diagnosis using Machine Learning: A Review" 'Seventh Sense Research Group Journals', doi: <http://arxiv.org/abs/2304.09178>
6. Azzarello, Delia, Camarda, Cecilia, Camarda, Rosolino, Cilluffo, et al. 2020, "Isolated Subtle Neurological Abnormalities in Mild Cognitive Impairment Types" 'Cambridge University Press (CUP)', doi: <https://core.ac.uk/download/286528263.pdf>
7. Baeken, Chris, Engelborghs, Sebastiaan, Wiels, Wietse 2020, "Depressive symptoms in the elderly : an early symptom of dementia? A systematic review" 'Frontiers Media SA', doi: <https://core.ac.uk/download/287939499.pdf>
8. Aldana, Blanca Irene, Freude, Kristine, Garcia-Bermúdez, Mariana Yolotzin, Kolko,

- et al. 2023, "Potential Retinal Biomarkers in Alzheimer's Disease" doi: <https://core.ac.uk/download/591512828.pdf>
9. Azzarello, Delia, Camarda, Cecilia, Camarda, Rosolino, Cilluffo, et al. 2020, "Isolated Subtle Neurological Abnormalities in Mild Cognitive Impairment Types" 'Cambridge University Press (CUP)', doi: <https://core.ac.uk/download/286528263.pdf>
 10. Baeken, Chris, Engelborghs, Sebastiaan, Wiels, Wietse 2020, "Depressive symptoms in the elderly : an early symptom of dementia? A systematic review" 'Frontiers Media SA', doi: <https://core.ac.uk/download/287939499.pdf>
 11. Alzheimer's Biomarkers Consortium–Down Syndrome (ABC-DS) Investigators, Cheema, Amrita K, Christian, Bradley T, Gross, Thomas J, et al. 2020, "Metabolic correlates of prevalent mild cognitive impairment and Alzheimer's disease in adults with Down

syndrome." eScholarship, University of California, doi:
<https://core.ac.uk/download/323075643.pdf>

12. Chen, Lili, Chen, Mingfeng, Ding, Xuemei, Lin, et al. 2025, "Translational computerized clinical decision support systems for Alzheimer's disease: A systematic review" doi:
<https://core.ac.uk/download/659506570.pdf>
13. Chatterjee, Pratishtha, D\u27Rozario, Angela L., Grunstein, Ron, Halliday, et al. 2024, "Predicting neurodegeneration from sleep related biofluid changes" Edith Cowan University, Research Online, Perth, Western Australia, doi:
<https://core.ac.uk/download/613952366.pdf>
14. Blennow, K, Zetterberg, H 2021, "Moving fluid biomarkers for Alzheimer's disease from research tools to routine clinical diagnostics" doi:
<https://core.ac.uk/download/388548113.pdf>

15. Aisen, Paul, Apostolova, Liana G, Atri, Alireza, Carrillo, et al. 2023, "Sex and APOE ϵ 4 carrier effects on atrophy, amyloid PET, and tau PET burden in early-onset Alzheimer's disease" eScholarship, University of California, doi: <https://core.ac.uk/download/628468003.pdf>
16. Rowcliffe, Stacey 2023, "ApoE Risk Disclosure: A Review of Positive and Negative Outcome" Digital Commons@NLU, doi: <https://core.ac.uk/download/587918965.pdf>
17. Apostolova, LG, Bouwman, FH, Carrillo, M, Dickerson, et al. 2021, "New insights into atypical Alzheimer's disease in the era of biomarkers" doi: <https://core.ac.uk/download/388714799.pdf>
18. Alzheimer Disease Neuroimaging Initiative, Fujioka, Hisashi, Gao, Ju, Liang, Jingjing, et al. 2020, "FAM222A encodes a protein which accumulates in plaques in

Alzheimer's disease." eScholarship, University of California, doi: <https://core.ac.uk/download/323072078.pdf>

19. Elman, Jeremy A, Initiative, for the Alzheimer's Disease Neuroimaging, Schork, Nicholas J 2023, "Pathway-Specific Polygenic Risk Scores Correlate with Clinical Status and Alzheimer's Disease-Related Biomarkers" eScholarship, University of California, doi: <https://core.ac.uk/download/596908660.pdf>
20. Alcolea, Daniel, Chong, Joyce R, Del Campo, Marta, Delaby, et al. 2024, "Challenges in the practical implementation of blood biomarkers for Alzheimer's disease" 'Elsevier BV', doi: <https://core.ac.uk/download/620951837.pdf>
21. Ajalo, Catherine, Ashton, Nicholas, Gleeurup, Helena Sophia, Leifert, et al. 2024, "Guidelines for the standardization of pre-analytical variables for salivary

biomarker studies in Alzheimer's disease research: An updated review and consensus of the Salivary Biomarkers for Dementia Research Working Group" eCommons@AKU, doi: <https://core.ac.uk/download/639442456.pdf>

22. Ahern, Susannah, Breakspear, Michael, Fripp, Jurgen, Lin, et al. 2023, "Tackling dementia together via the Australian dementia network (ADNeT): A summary of initiatives, progress and plans" Edith Cowan University, Research Online, Perth, Western Australia, doi: <https://core.ac.uk/download/597870516.pdf>
23. Alzheimer Disease Neuroimaging Initiative, Fujioka, Hisashi, Gao, Ju, Liang, Jingjing, et al. 2020, "FAM222A encodes a protein which accumulates in plaques in Alzheimer's disease." eScholarship, University of California, doi: <https://core.ac.uk/download/323072078.pdf>

24. Alzheimer's Biomarkers Consortium–Down Syndrome (ABC-DS) Investigators, Cheema, Amrita K, Christian, Bradley T, Gross, Thomas J, et al. 2020, "Metabolic correlates of prevalent mild cognitive impairment and Alzheimer's disease in adults with Down syndrome." eScholarship, University of California, doi: <https://core.ac.uk/download/323075643.pdf>
25. Berestetska, Valentina Ivanovna 2023, "Environmental factors in the development of Alzheimer's disease" European Institute of knowledge and innovation (EIKI LTD), doi: <https://core.ac.uk/download/591701226.pdf>
26. Badhwar, AmanPreet, Bellec, Pierre, Black, Sandra, Chertkow, et al. 2020, "A multiomics approach to heterogeneity in Alzheimers disease: focused review and roadmap." eScholarship, University of California, doi: <https://core.ac.uk/download/649473694.pdf>

27. Klén, Riku, Rainio, Oona, Rudroff, Thorsten 2024, "AI for the prediction of early stages of Alzheimer's disease from neuroimaging biomarkers -- A narrative review of a growing field" doi: <http://arxiv.org/abs/2406.17822>
28. Liu, Peiwan 2024, "Evaluating Neuroimaging Modalities in the A/T/N Framework: Single and Combined FDG-PET and T1-Weighted MRI for Alzheimer's Diagnosis" Washington University Open Scholarship, doi: <https://core.ac.uk/download/616647780.pdf>
29. Anderson, Matthew, Ashford, Wesson, Jeromin, Andreas, Lin, et al. 2024, "Considerations for widespread implementation of blood-based biomarkers of Alzheimer's disease" eCommons@AKU, doi: <https://core.ac.uk/download/624404518.pdf>

30. Klén, Riku, Rainio, Oona, Rudroff, Thorsten
2024, "AI for the prediction of early stages of
Alzheimer's disease from neuroimaging
biomarkers -- A narrative review of a
growing field" doi:
<http://arxiv.org/abs/2406.17822>

Avances en Neuroimagen Funcional y su Aplicación Clínica

Héctor Antonio León Llanos

Médico de la Universidad Católica Santiago de Guayaquil

Médico General Servicios Médicos Integrales

SERVMINPOP Durán

Introducción

La neuroimagen funcional ha avanzado considerablemente en los últimos años, transformando nuestra manera de entender la actividad cerebral y su uso clínico. Este campo, en constante evolución, no solo permite observar procesos neuronales en tiempo real, sino que también ha impulsado la creación de tecnologías innovadoras, como la neuropredicción asistida por inteligencia artificial. Estas técnicas tienen el potencial de cambiar campos como la psiquiatría

forense, donde su habilidad para identificar marcadores neurocognitivos puede aumentar la precisión en la evaluación de riesgos y la intervención terapéutica. No obstante, y a pesar de sus aplicaciones prometedoras, se plantean cuestiones éticas y legales que es preciso analizar con detenimiento, sobre todo en el ámbito de la justicia penal. La exploración de la relación entre los cambios en la sustancia blanca del cerebro y la conectividad funcional subraya aún más la complejidad del cerebro humano y su impacto en la cognición, recalcando la importancia de un análisis crítico sobre el papel de estas tecnologías en la práctica clínica Bijlsma et al. 2020Kantarovich et al. 2020. En general, se puede afirmar que la neuroimagen funcional plantea retos importantes que exigen una reflexión constante.

Definición de neuroimagen funcional

La neuroimagen funcional comprende un abanico de técnicas diseñadas para observar y cuantificar la

actividad cerebral en el instante en que ocurre, ofreciendo datos esenciales sobre el desenvolvimiento funcional del sistema nervioso. Entre estas técnicas, la resonancia magnética funcional (fMRI) y la tomografía por emisión de positrones (PET) sobresalen, habiendo transformado nuestra comprensión de los procesos neurobiológicos en un amplio espectro de situaciones clínicas. El progreso en la neuroimagen funcional ha simplificado el análisis de anomalías en la conectividad cerebral, sugiriendo que daños en la materia blanca pueden modificar la integración funcional entre distintas áreas del cerebro, lo cual se ha asociado a alteraciones cognitivas en poblaciones de edad avanzada Kantarovich et al. 2020. De igual forma, se ha constatado que los daños ocasionados por impactos repetidos en el ámbito deportivo afectan la conectividad funcional, lo que, generalmente hablando, puede repercutir en el control inhibitorio y el procesamiento de información en los

deportistas Cecchi et al. 2020. Estos descubrimientos ponen de manifiesto la importancia de la neuroimagen funcional en la práctica clínica actual. Digamos que subrayan su relevancia.

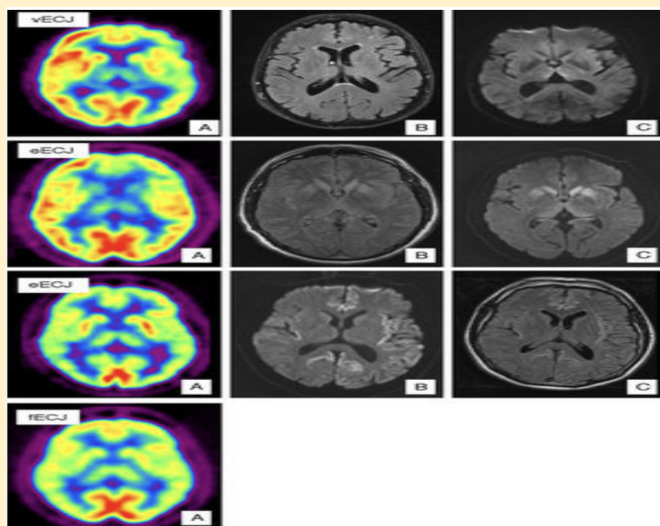


Imagen 1. Caso de vECJ. (A) PET-FDG muestra hipometabolismo talámico bilateral y hemisférico izquierdo. (B) FLAIR sin alteraciones relevantes. (C) Aumento de señal en tálamo dorsomedial bilateral en secuencias de difusión. Caso de eECJ. (A) PET-FDG muestra hipometabolismo en núcleos caudado, tálamo y región anterior del putamen. Hipometabolismo región del polo anterior y frontal dorso-medial de predominio izquierdo. (B) Hiperintensidad en la rodilla de la cápsula interna izquierda y ganglios de la base bilateralmente en secuencias FLAIR. (C) Hallazgos similares en secuencias de difusión con hiperintensidad también en tálamo y córtex cingular. Probable caso de eECJ (subtipo MM2). (A) PET-FDG muestra disminución generalizada de la actividad cortical y de ambas regiones talámicas. (B) Hiperintensidad cortical bihemisférico de predominio izquierdo en secuencias FLAIR. (C) Hallazgos similares en secuencias de difusión. Caso de fECJ. (A) PET-FDG evidencia hipometabolismo de la región talámica y ganglios de la base de predominio hemisférico derecho con compromiso de caudado bilateralmente.

Importancia de la neuroimagen en entornos clínicos

La neuroimagen, en el ámbito clínico, tiene un rol fundamental, proveyendo herramientas que son clave para el diagnóstico y el tratamiento de distintas patologías neurológicas. A medida que la neuroimagen funcional avanza, su impacto en la práctica clínica es cada vez más claro. Por ejemplo, si combinamos la neuroimagen con inteligencia artificial, podemos desarrollar tecnologías de lectura cerebral que podrían cambiar campos como la psiquiatría forense, ayudando a hacer evaluaciones de riesgo más precisas y a identificar intervenciones Bijlsma et al. 2020. A su vez, se vuelve indispensable compartir datos armonizados de estudios multicéntricos para el desarrollo de biomarcadores diagnósticos y pronósticos, sobre todo en condiciones complejas como la esclerosis múltiple Barkhof et al. 2022. Por lo tanto, al integrar la neuroimagen en la atención clínica, no solo mejora la calidad del diagnóstico, también abre

nuevas vías para un manejo personalizado y efectivo de los pacientes.

Descripción general de las técnicas de neuroimagen funcional

La neuroimagen funcional, generalmente hablando, se ha convertido en una herramienta clave tanto en la investigación como en la práctica clínica; permite observar y analizar la actividad del cerebro cuando este responde a diferentes tareas cognitivas y emocionales. Entre las técnicas más relevantes, encontramos la resonancia magnética funcional (fMRI), la tomografía por emisión de positrones (PET) y la electroencefalografía (EEG). Cada una, por supuesto, con sus propias ventajas y limitaciones en términos de resolución, tanto temporal como espacial. La habilidad de estas técnicas para detectar pequeños cambios en la actividad cerebral ha abierto, sin duda, nuevas posibilidades para entender mejor trastornos neurológicos y psiquiátricos. De esta forma,

contribuye a la implementación de enfoques innovadores en el diagnóstico y el tratamiento. Por otro lado, la integración de la inteligencia artificial y el aprendizaje automático en el análisis de los datos que arrojan las neuroimágenes, promete aumentar la precisión en la identificación de biomarcadores neurocognitivos. Esto facilita, a su vez, el avance en la neuropredicción, como puede verse en Bijlsma et al. 2020 y Depp et al. 2020.

Tipos de métodos de neuroimagen funcional (por ejemplo, fMRI, PET)

En las últimas décadas, los métodos de neuroimagen funcional han experimentado un avance notable, lo que ha posibilitado una comprensión más profunda de la actividad cerebral en tiempo real. Dentro de estos métodos, la resonancia magnética funcional (fMRI) y la tomografía por emisión de positrones (PET) sobresalen de forma particular debido a su capacidad para evaluar, respectivamente, el flujo

sanguíneo y el metabolismo cerebral. La fMRI, que se fundamenta en la resonancia magnética, se emplea para mapear áreas del cerebro que se activan al realizar tareas concretas, lo que revela patrones de funcionamiento que resultan esenciales para comprender trastornos tanto neurológicos como psiquiátricos. La PET, por su parte, ofrece información sobre la actividad metabólica cerebral, algo crucial en el diagnóstico y el seguimiento de enfermedades neurodegenerativas, tal y como se menciona en Czerska et al. 2025. Generalmente hablando, estos avances no solo incrementan la precisión diagnóstica, sino que además brindan nuevas perspectivas para tratamientos personalizados en la práctica clínica, como bien destaca N/A 2021.

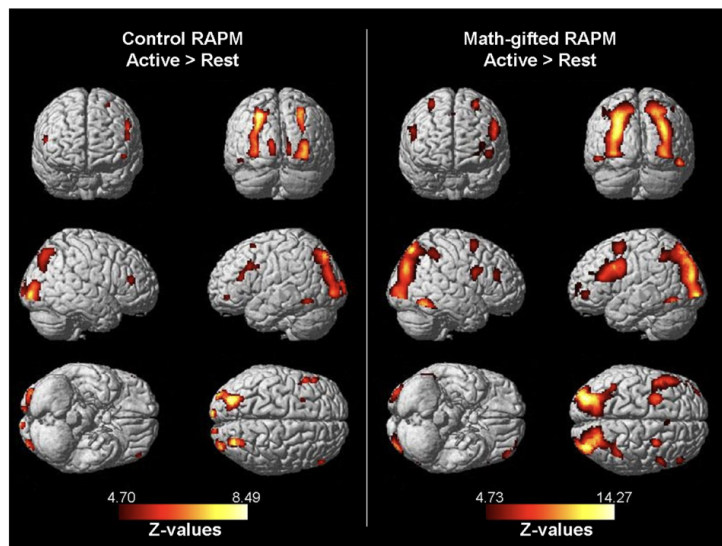


Imagen 2. Comparación de la activación cerebral durante la resolución de matrices progresivas de Raven (RAPM) entre individuos del grupo control (izquierda) y sujetos con altas habilidades matemáticas (derecha). Las imágenes de resonancia magnética funcional (fMRI) muestran regiones con mayor activación en la condición de tarea activa comparada con reposo (Active > Rest). Las zonas en color rojo-amarillo indican mayores valores Z, reflejando un incremento en la actividad neuronal. El grupo con talento matemático presenta una activación más extensa y bilateral en áreas frontoparietales, asociadas al razonamiento lógico y visual-espacial. Escala de valores Z mostrada en la parte inferior.

Avances tecnológicos en la resolución y velocidad de la imagen

Los adelantos en la velocidad y resolución de las imágenes han transformado la neuroimagen funcional, facilitando una comprensión más completa de los procesos neuronales complejos. La integración de técnicas con alta resolución temporal, como la magnetoencefalografía (MEG), ha permitido a los investigadores explorar dinámicas espacio-temporales relevantes para entender la cognición y la conducta, particularmente en el contexto de trastornos psiquiátricos Dolan et al. 2022. Adicionalmente, el desarrollo de tecnologías de imagen por resonancia magnética (IRM), sobre todo en modalidades de 0.55T y 7T, ha optimizado la caracterización de tejidos y mejorado la preservación del detalle en la imagen, ofreciendo un marco diagnóstico seguro y no invasivo Alves et al. 2024. Generalmente hablando, estos avances no solo amplían las capacidades diagnósticas, sino que también sientan

las bases para innovaciones futuras en la comprensión de la salud cerebral y sus patologías.

Aplicaciones clínicas en neurología

Las aplicaciones clínicas en el campo de la neurología han experimentado una notable transformación gracias a los progresos en la neuroimagen funcional. Estas técnicas nos brindan una comprensión más rica de las alteraciones que afectan la conectividad cerebral. Pensemos, por ejemplo, en la monitorización de deportistas que sufren impactos repetidos en la cabeza. Un estudio con atletas de polo acuático, por ejemplo, demostró cómo la neuroimagen revela cambios en la conectividad funcional del cerebro, lo que a su vez apoya la evaluación de la capacidad cognitiva y el control inhibitorio Cecchi et al. 2020. Además, en el contexto de los accidentes cerebrovasculares isquémicos, la caracterización de depósitos de hemosiderina ha puesto de relieve la importancia de la resonancia magnética. Esta técnica permite

diferenciar entre infartos y hemorragias primarias, un aspecto fundamental para el pronóstico y el manejo del paciente Arteaga-Reyes et al. 2024. En general, estas innovaciones están remodelando el diagnóstico y la rehabilitación neurológica, abriendo la puerta a enfoques más precisos y, sobre todo, personalizados.

Papel de la neuroimagen en el diagnóstico de trastornos neurológicos

En el contexto del diagnóstico de trastornos neurológicos, la neuroimagen es fundamental, ya que proporciona herramientas avanzadas para la evaluación y visualización de las estructuras y funciones cerebrales. Técnicas como la resonancia magnética funcional (RMf) y la tomografía por emisión de positrones (PET) permiten la identificación de biomarcadores específicos, algo esencial para el diagnóstico precoz y preciso de condiciones como la enfermedad de Alzheimer y la esclerosis múltiple. Es importante destacar que el

trabajo colaborativo de consorcios como ENIGMA ha permitido combinar datos a nivel global, enriqueciendo la investigación en neurociencias y mostrando la heterogeneidad, tanto genética como patofisiológica, de los trastornos neurológicos. De hecho, conforme avanzamos hacia un enfoque de medicina de precisión, se resaltan cuatro pilares fundamentales: biomarcadores multimodales, medicina de sistemas, tecnologías digitales de salud y, por supuesto, la ciencia de datos, lo que refuerza aún más la relevancia de la neuroimagen en la práctica clínica actual Cho M et al. 2023Adhikari et al. 2020.

Uso de la neuroimagen en el monitoreo de la progresión de la enfermedad y la eficacia del tratamiento

El monitoreo de la progresión de enfermedades neurológicas y la evaluación de la eficacia de tratamientos específicos han sido, sin duda, transformados por la neuroimagen. En el ámbito de

la enfermedad de Alzheimer, es innegable que tratamientos con anticuerpos monoclonales, como lecanemab y donanemab, han mostrado diferencias significativas en resultados clínicos. Por ello, asegurar un adecuado seguimiento de la respuesta terapéutica en pacientes hace que la implementación de herramientas de neuroimagen sea necesaria Barber et al. 2024. En esclerosis múltiple, de manera similar, la resonancia magnética y otras técnicas avanzadas de neuroimagen han posibilitado una comprensión más profunda de la progresión de la enfermedad y su actividad, facilitando la personalización de la terapia, generalmente hablando Ahmed et al. 2025. Estas tecnologías optimizan el diagnóstico y la monitorización; sin embargo, presentan un desafío en cuanto a recursos y logística para los sistemas de salud en su implementación, en la mayoría de los casos.

Impacto en el tratamiento de la salud mental

En la actualidad, la incidencia de las innovaciones en la neuroimagen funcional ha revolucionado de manera notable el abordaje de la salud mental, impulsando un entendimiento más profundo de los trastornos psicológicos. Las técnicas de neuroimagen, en sinergia con la inteligencia artificial (IA), han propiciado la creación de metodologías vanguardistas para la valoración y el tratamiento de afecciones mentales. A modo de ejemplo, la IA no solo simplifica la detección precoz de dificultades cognitivas, sino que también optimiza la eficacia de las intervenciones al integrar una perspectiva multidimensional que contempla elementos biológicos y psicológicos Depp et al. 2020. Por otra parte, el empleo de la neuroimagen en la psiquiatría forense exhibe un potencial significativo para acrecentar la precisión de las estimaciones de riesgo y la identificación de intervenciones apropiadas, resaltando la trascendencia de la neuropredicción con A.I. en

este campo Bijlsma et al. 2020. De este modo, la fusión de estas tecnologías aspira a reformular la forma en que se diagnostican y se tratan los trastornos mentales.

Neuroimagen funcional en la comprensión de los trastornos psiquiátricos

La neuroimagen funcional, verdaderamente, ha cambiado nuestra forma de entender los trastornos psiquiátricos, ofreciéndonos, por decirlo así, una mirada directa a la actividad del cerebro en tiempo real. Gracias a técnicas como la magnetoencefalografía (MEG), se ha vuelto posible observar y analizar los patrones de cognición, percepción y, claro, comportamiento, en relación con distintas patologías mentales. Estos adelantos nos permiten desentrañar la dinámica espacial y temporal de los procesos neuronales, algo que resulta crucial para entender enfermedades como la depresión y la ansiedad, donde los procesos de aprendizaje y memoria juegan roles significativos

Dolan et al. 2022. No obstante, y a pesar del potencial de la neuroimagen para mejorar tanto el diagnóstico como la terapia, su aplicación clínica se encuentra con diversos desafíos, como la heterogeneidad clínica y, por supuesto, las limitaciones metodológicas. Es importante abordar estos obstáculos para así maximizar los beneficios que la neuroimagen funcional puede aportar en el tratamiento de los trastornos psiquiátricos van de Mortel et al. 2025.

Aplicaciones en planes de tratamiento personalizados e intervenciones

El auge de la neuroimagen funcional ha transformado nuestra concepción de los planes de tratamiento a medida, afinando la puntería y el impacto de nuestras intervenciones en distintas dolencias. En oncología, por poner un caso, la simulación de radioterapia PET/CT es clave para dibujar con exactitud el volumen tumoral, algo crucial para un tratamiento a la carta y para no

dañar tejido sano Carsrud et al. 2024. Y en psiquiatría, la fMRI ha sido fundamental para detectar patrones neuronales característicos en trastornos como la esquizofrenia, abriendo la puerta a terapias individualizadas según las disfunciones detectadas Vignapiano A et al. 2024. Estas mejoras no solo se traducen en mejores resultados para el paciente, sino que impulsan la investigación en tratamientos que se adaptan a cada persona, subrayando la relevancia de la personalización en la medicina actual.

Conclusión

En resumen, las innovaciones en neuroimagen funcional han revolucionado la investigación científica y la práctica clínica. Ofrecen, de hecho, instrumentos fundamentales para comprender y tratar los trastornos neurológicos. Técnicas como la resonancia magnética funcional (fMRI) y la electroencefalografía (EEG) han facilitado la exploración no invasiva de la actividad cerebral,

mostrando patrones que, hasta hace poco, resultaban ininteligibles. No obstante estos avances, persisten retos importantes, sobre todo en la integración de aplicaciones de inteligencia artificial (IA) en ambientes clínicos; en este aspecto, las inquietudes sobre la privacidad y la estandarización de los datos son esenciales para su implementación eficaz Khalid N et al. 2023. Adicionalmente, es crucial seguir perfeccionando técnicas que optimicen el diagnóstico y tratamiento de enfermedades como el trastorno del espectro autista y el Alzheimer, donde la neuroimagen tiene un rol clave en la adaptación individual de las intervenciones terapéuticas Yen C et al. 2023. Se podría decir que el futuro de la neurociencia se basa en estas innovaciones y en la colaboración interdisciplinaria.

Resumen de los avances clave y sus implicaciones

El progreso en la neuroimagen funcional ha facilitado una comprensión profunda de las

alteraciones neurofisiológicas que están en la base de varios trastornos, así como implicaciones clínicas importantes. La incorporación de tecnologías de inteligencia artificial (IA) en estos procesos ha impulsado innovaciones como la neuropredicción. Esta última, en esencia, brinda la posibilidad de detectar biomarcadores neurocognitivos para la evaluación del riesgo de violencia y reincidencia en situaciones de psiquiatría forense Bijlsma et al. 2020. En una línea similar, la identificación de la progresión biológica en la enfermedad de Alzheimer ha cambiado nuestra forma de entender la enfermedad, sugiriendo que quizás deba considerarse como un continuo de modificaciones patológicas, en lugar de fases discretas. Este planteamiento ha resultado ser crucial para detectar cambios iniciales en la acumulación de amiloide β y tau, lo que podría, generalmente hablando, mejorar la efectividad de los ensayos clínicos Aisen et al. 2020. Por lo tanto, los avances en neuroimagen funcional no solamente

amplían nuestra comprensión teórica, sino que también tienen el potencial de transformar la práctica clínica; algo que, sin duda, es de gran relevancia.

Direcciones futuras para la investigación y la práctica clínica en neuroimagen

El horizonte de la investigación y la práctica clínica en el campo de la neuroimagen se vislumbra como un área llena de posibilidades, en gran parte debido a la continua demanda de herramientas de diagnóstico más exactas y eficientes. Un elemento fundamental será, en la mayoría de los casos, la descomposición del espectro psicótico, que sugiere la adopción de metodologías dimensionales y una fenotipificación exhaustiva para ajustar con mayor precisión los límites diagnósticos en trastornos como la esquizofrenia. La notoria heterogeneidad clínica de la esquizofrenia, que se manifiesta a través de una considerable variabilidad interindividual tanto en la expresión de los

síntomas como en la respuesta a los tratamientos, obliga a que los investigadores consideren la convergencia con otras condiciones neurológicas, tal como la esclerosis múltiple, cuyo proceso de diagnóstico ha experimentado mejoras sustanciales gracias a los avances en neuroimagen Szulc A et al. 2023. Por otra parte, el empleo de tecnologías de lectura cerebral, cuyo desarrollo está siendo potenciado por la inteligencia artificial, promete transformar radicalmente la evaluación del riesgo en la psiquiatría forense, si bien es cierto que se requiere mayor investigación para examinar en detalle sus implicaciones éticas y también legales Bijlsma et al. 2020.

Bibliografías

1. Barber, R, Isaacs, JD, Krishnan, MS, Laurell, et al. 2024, "Estimating demand for potential disease-modifying therapies for Alzheimer's disease in the UK." doi: <https://core.ac.uk/download/599586092.pdf>

2. Ahmed, Zubair, Baronti, Luca, Castellani, Marco, Douglas, et al. 2025, "Machine learning for refining interpretation of magnetic resonance imaging scans in the management of multiple sclerosis:a narrative review" doi:
<https://core.ac.uk/download/636057930.pdf>
3. Bijlsma, J., Ferracuti, S., Meynen, G., Tortora, et al. 2020, "Neuroprediction and A.I. in Forensic Psychiatry and Criminal Justice: A Neurolaw Perspective" 'Frontiers Media SA', doi:
<https://core.ac.uk/download/323191898.pdf>
4. Kantarovich, Karin 2020, "Investigating White Matter Lesion Load, Intrinsic Functional Connectivity, and Cognitive Abilities in Older Adults" doi:
<https://core.ac.uk/download/322837953.pdf>
5. Kantarovich, Karin 2020, "Investigating White Matter Lesion Load, Intrinsic Functional Connectivity, and Cognitive

Abilities in Older Adults" doi:
<https://core.ac.uk/download/322837953.pdf>

6. Cecchi, Nicholas J, Gerges, Paul, Hicks, James W, Monroe, et al. 2020, "A Dose Relationship Between Brain Functional Connectivity and Cumulative Head Impact Exposure in Collegiate Water Polo Players." eScholarship, University of California, doi: <https://core.ac.uk/download/323075290.pdf>
7. Carsrud, N.D. Victor, Flores, John V., Holets, Hilary M., Kadivi, et al. 2024, "Transformative Precision: Investigative Summary of PET/CT-Guided Radiation Therapy Simulation in Comprehensive Cancer Management" AMO Publisher, doi: <https://core.ac.uk/download/603903713.pdf>
8. Annarita Vignapiano, Eugenia Barone, Francesco Monaco, Luca Steardo, Luca Steardo, Marco Solmi, Martina D'Angelo, et al. 2024, "Decoding Schizophrenia: How AI-Enhanced fMRI Unlocks New Pathways

for Precision Psychiatry" doi:
<https://core.ac.uk/download/636831904.pdf>

9. Bijlsma, J., Ferracuti, S., Meynen, G., Tortora, et al. 2020, "Neuroprediction and A.I. in Forensic Psychiatry and Criminal Justice: A Neurolaw Perspective" 'Frontiers Media SA', doi:
<https://core.ac.uk/download/323191898.pdf>
10. Depp, Colin A, Graham, Sarah A, Jeste, Dilip V, Kim, et al. 2020, "Artificial intelligence approaches to predicting and detecting cognitive decline in older adults: A conceptual review." eScholarship, University of California, doi:
<https://core.ac.uk/download/287623887.pdf>
11. Cecchi, Nicholas J, Gerges, Paul, Hicks, James W, Monroe, et al. 2020, "A Dose Relationship Between Brain Functional Connectivity and Cumulative Head Impact Exposure in Collegiate Water Polo Players."

eScholarship, University of California, doi:
<https://core.ac.uk/download/323075290.pdf>

12. Arteaga-Reyes, Carmen, Chappell, Francesca M, Cheng, Yajun, Clancy, et al. 2024, "Prevalence and Clinical Implications of Hemosiderin Deposits in Recent Small Subcortical Infarcts" doi:
<https://core.ac.uk/download/622335745.pdf>
13. Bijlsma, J., Ferracuti, S., Meynen, G., Tortora, et al. 2020, "Neuroprediction and A.I. in Forensic Psychiatry and Criminal Justice: A Neurolaw Perspective" 'Frontiers Media SA', doi:
<https://core.ac.uk/download/323191898.pdf>
14. Aisen, Paul S, Donohue, Michael C, Insel, Philip S, Mormino, et al. 2020, "Neuroanatomical spread of amyloid β and tau in Alzheimer's disease: implications for primary prevention." eScholarship, University of California, doi:
<https://core.ac.uk/download/323065493.pdf>

15. Agata Szulc, Andre Decraene, Andrea Fiorillo, Andrew Chan, Błażej Misiak, Claudio L. A. Bassetti, Geert Dom, et al. 2023, "The Future of Diagnosis in Clinical Neurosciences: Comparing Multiple Sclerosis and Schizophrenia" Cambridge University Press, doi: <https://core.ac.uk/download/572880723.pdf>
16. Bijlsma, J., Ferracuti, S., Meynen, G., Tortora, et al. 2020, "Neuroprediction and A.I. in Forensic Psychiatry and Criminal Justice: A Neurolaw Perspective" 'Frontiers Media SA', doi: <https://core.ac.uk/download/323191898.pdf>
17. Bijlsma, J., Ferracuti, S., Meynen, G., Tortora, et al. 2020, "Neuroprediction and A.I. in Forensic Psychiatry and Criminal Justice: A Neurolaw Perspective" 'Frontiers Media SA', doi: <https://core.ac.uk/download/323191898.pdf>

18. Barkhof, Frederik, Battaglini, Marco, Cortese, Rosa, De Stefano, et al. 2022, "MAGNIMS recommendations for harmonization of MRI data in MS multicenter studies" 'Elsevier BV', doi: <https://core.ac.uk/download/512012632.pdf>
19. Dolan, Raymond J, McFadyen, Jessica 2022, "Spatiotemporal precision of neuroimaging in psychiatry" 'Elsevier BV', doi: <https://core.ac.uk/download/533458615.pdf>
20. Alves, Ana Carolina, Alves, Victor, Egger, Jan, Ferreira, et al. 2024, "Deep Dive into MRI: Exploring Deep Learning Applications in 0.55T and 7T MRI" doi: <http://arxiv.org/abs/2407.01318>
21. Dolan, Raymond J, McFadyen, Jessica 2022, "Spatiotemporal precision of neuroimaging in psychiatry" 'Elsevier BV', doi: <https://core.ac.uk/download/533458615.pdf>
22. van de Mortel, L.A. 2025, "Puzzling patterns:Exploring the potential of

- diagnostic and prognostic neuroimaging in
mental disorders" doi:
<https://core.ac.uk/download/655145667.pdf>
23. N/A 2021, "Advances in Clinical
Neurophysiology" 'IntechOpen', doi:
<https://core.ac.uk/download/478138100.pdf>
24. Czerska, Magdalena Agata, Furtak, Kinga,
Kamińska-Omasta, Katarzyna, Krupa, et al.
2025, "Modern Imaging Methods in the
Diagnosis of Neurodegenerative Diseases"
University Center for Sports Research,
Nicolaus Copernicus University, Torun,
Poland, doi:
<https://core.ac.uk/download/646079920.pdf>
25. Cho M., Cummings J., Gao P., Hampel H.,
Hu Y., Thompson P. M., Toschi N., et al.
2023, "The foundation and architecture of
precision medicine in neurology and
psychiatry" CELL PRESS, doi:
<https://core.ac.uk/download/656007789.pdf>

26. Adhikari, Bhim M, Agartz, Ingrid, Aghajani, Moji, Aleman, et al. 2020, "ENIGMA and global neuroscience: A decade of large-scale studies of the brain in health and disease across more than 40 countries." eScholarship, University of California, doi: <https://core.ac.uk/download/323076217.pdf>
27. Chiahui Yen, Chia-Li Lin, Ming-Chang Chiang 2023, "Exploring the Frontiers of Neuroimaging: A Review of Recent Advances in Understanding Brain Functioning and Disorders" Life, Volume(13), 1472-1472, 1472-1472. doi: <https://doi.org/10.3390/life13071472>
28. Nazish Khalid, Adnan Qayyum, Muhammad Bilal, Ala Al-Fuqaha, Junaid Qadir 2023, "Privacy-preserving artificial intelligence in healthcare: Techniques and applications" Computers in Biology and Medicine, Volume(158), 106848-106848,

106848-106848. doi:
<https://doi.org/10.1016/j.compbimed.2023.106848>

29. Bijlsma, J., Ferracuti, S., Meynen, G., Tortora, et al. 2020, "Neuroprediction and A.I. in Forensic Psychiatry and Criminal Justice: A Neurolaw Perspective" 'Frontiers Media SA', doi:
<https://core.ac.uk/download/323191898.pdf>
30. Depp, Colin A, Graham, Sarah A, Jeste, Dilip V, Kim, et al. 2020, "Artificial intelligence approaches to predicting and detecting cognitive decline in older adults: A conceptual review." eScholarship, University of California, doi:
<https://core.ac.uk/download/287623887.pdf>

Descargo de Responsabilidad y Términos de Publicación

La presente publicación ha sido concebida como una fuente de consulta y referencia académica. La información contenida en sus capítulos no reemplaza, bajo ninguna circunstancia, la evaluación y el manejo clínico por parte de un profesional médico certificado. La aplicación de cualquier conocimiento aquí expuesto es responsabilidad última del lector.

Velseris Editores actúa únicamente como casa editorial; por tanto, el rigor científico, las posturas y las conclusiones vertidas en cada artículo son de exclusiva incumbencia de los autores firmantes.

ISBN: 978-9942-7428-1-0

Una producción de Velseris Editores

Julio 2025 Quito, Ecuador

Esta obra está protegida por la legislación ecuatoriana sobre derechos de autor y propiedad intelectual, así como por los tratados internacionales aplicables. No se permite su reproducción, almacenamiento en sistemas recuperables de información, ni su transmisión en cualquier forma o por cualquier medio electrónico, mecánico, fotocopia, grabación u otro sin el permiso previo y por escrito de los titulares de los derechos.