DOI: https://doi.org/10.31243/mdc.uta.v10i3.3267.2026

Artículo de revisión

Telerehabilitación en enfermedades neurodegenerativas: Fundamentos, evidencia científica y desafíos en la rehabilitación física del siglo XXI.
Telerehabilitation in neurodegenerative diseases: Foundations, scientific evidence, and challenges in physical rehabilitation in the 21st century.

Caicedo Cobo Pedro Fernando*, Brito Sarabia Vladimir Santiago**, Villarroel Quispe Andrea Elizabeth***, Gavilanes Fray Verónica del Pilar****

Instituto Tecnológico Superior España, ORCID: https://orcid.org/0009-0007-3215-5524
Instituto Tecnológico Superior España, ORCID: https://orcid.org/0009-0008-0168-7357
Instituto Tecnológico Superior España, ORCID: https://orcid.org/0000-0002-4310-1341
Universidad Autónoma de los Andes UNIANDES, ORCID: https://orcid.org/0000-0002-0530-2011

pedro.caicedo@iste.edu.ec

Recibido: 16 de mayo del 2026
Revisado: 2 de junio del 2026
Aceptado: 23 de junio del 2026

Resumen.
Las enfermedades neurodegenerativas, incluidas la enfermedad de Parkinson, la esclerosis múltiple y la enfermedad de Alzheimer, representan una causa importante de discapacidad progresiva a nivel mundial. Estas condiciones afectan la movilidad, el equilibrio, la cognición, la autonomía y la calidad de vida, lo que genera la necesidad de implementar estrategias innovadoras de rehabilitación que garanticen la continuidad de la atención. La telerehabilitación ha surgido como una alternativa complementaria a la rehabilitación presencial convencional, mediante el uso de plataformas digitales, realidad virtual, sensores portátiles, sistemas de monitoreo remoto e inteligencia artificial para desarrollar intervenciones terapéuticas a distancia. El objetivo de este artículo es analizar los fundamentos fisiológicos, tecnológicos y científicos de la telerehabilitación en pacientes con enfermedades neurodegenerativas, destacando sus beneficios, limitaciones y desafíos de implementación en la rehabilitación física contemporánea. Se realizó una revisión narrativa de la literatura con búsqueda sistematizada en PubMed, Scopus, PEDro y Google Scholar. Se consideraron artículos publicados principalmente entre 2021 y 2025, en inglés y español. Se incluyeron metaanálisis, revisiones sistemáticas, ensayos clínicos controlados y estudios clínicos que evaluaron intervenciones de telerehabilitación en enfermedad de Parkinson, esclerosis múltiple, enfermedad de Alzheimer y demencias. La evidencia revisada indica que la telerehabilitación puede mejorar la funcionalidad, el equilibrio, la marcha, el manejo de la fatiga, la adherencia terapéutica, el rendimiento cognitivo y la autonomía del paciente. En la enfermedad de Parkinson, los programas basados en realidad virtual y retroalimentación visual favorecen el control postural y la marcha. En la esclerosis múltiple, las intervenciones digitales promueven la capacidad funcional y la continuidad del ejercicio terapéutico. En la enfermedad de Alzheimer, la telerehabilitación cognitiva combinada con apoyo al cuidador mejora la estimulación y el seguimiento. En conclusión, la telerehabilitación constituye una estrategia innovadora, accesible y centrada en el paciente, con alto potencial para transformar los modelos de rehabilitación física y neurocognitiva.
Palabras clave: Telerehabilitación, enfermedades neurodegenerativas, enfermedad de parkinson, Alzheimer, esclerosis múltiple, inteligencia artificial.

Abstract
Neurodegenerative diseases, including Parkinson's disease, multiple sclerosis, and Alzheimer's disease, represent a major cause of progressive disability worldwide. These conditions affect mobility, balance,

cognition, autonomy, and quality of life, creating the need for innovative rehabilitation strategies that ensure continuity of care. Telerehabilitation has emerged as a complementary alternative to conventional face-to-face rehabilitation by using digital platforms, virtual reality, wearable sensors, remote monitoring systems, and artificial intelligence to deliver therapeutic interventions at a distance. The objective of this article is to analyze the physiological, technological, and scientific foundations of telerehabilitation in patients with neurodegenerative diseases, emphasizing its benefits, limitations, and implementation challenges in contemporary physical rehabilitation. A narrative literature review with a systematized search was conducted in PubMed, Scopus, PEDro, and Google Scholar. Articles published mainly between 2021 and 2025, in English and Spanish, were considered. Meta-analyses, systematic reviews, controlled clinical trials, and clinical studies evaluating telerehabilitation interventions in Parkinson's disease, multiple sclerosis, Alzheimer's disease, and dementia were included. The reviewed evidence indicates that telerehabilitation can improve functionality, balance, gait, fatigue management, therapeutic adherence, cognitive performance, and patient autonomy. In Parkinson's disease, virtual reality and visual feedback programs support postural control and gait. In multiple sclerosis, digital interventions promote functional capacity and exercise continuity. In Alzheimer's disease, cognitive telerehabilitation combined with caregiver support enhances stimulation and follow-up. In conclusion, telerehabilitation is an innovative, accessible, and patient-centered strategy with significant potential to transform physical and neurocognitive rehabilitation models
Keywords: Telerehabilitation, neurodegenerative diseases, Parkinson's disease, Alzheimer's disease, multiple sclerosis, artificial intelligence.

Introducción

Las enfermedades neurodegenerativas comprenden un conjunto de patologías caracterizadas por la degeneración progresiva de las neuronas y de sus conexiones sinápticas. Entre las más prevalentes se encuentran la enfermedad de Alzheimer, la enfermedad de Parkinson y la esclerosis múltiple, las cuales representan un desafío creciente para los sistemas de salud debido a su impacto funcional, emocional y económico (1).

El envejecimiento poblacional, junto con el incremento de la esperanza de vida, ha contribuido significativamente al aumento de la prevalencia de estas enfermedades. La Organización Mundial de la Salud reporta que en 2021 aproximadamente 57 millones de personas vivían con demencia en el mundo y que cada año se presentan cerca de 10 millones de casos nuevos (1). Además, el estudio Global Burden of Disease 2021 estimó que más de 3.400 millones de personas estuvieron afectadas por trastornos del sistema nervioso, lo que confirma su impacto creciente en salud pública (2). El abordaje terapéutico de estas patologías requiere intervenciones multidisciplinarias, estructuradas y basadas en evidencia científica, orientadas a preservar la función motora y cognitiva, mantener la independencia funcional y mejorar la calidad de vida del paciente. En este contexto, la rehabilitación física desempeña un papel fundamental al favorecer la neuroplasticidad, prevenir complicaciones secundarias y promover la autonomía funcional mediante intervenciones individualizadas ajustadas a la evolución clínica de cada paciente (2,6).

No obstante, los modelos tradicionales de rehabilitación presencial presentan diversas limitaciones, entre ellas barreras geográficas, dificultades de acceso, costos asociados al desplazamiento y restricciones en la continuidad del tratamiento. Estas limitaciones pueden afectar negativamente la adherencia terapéutica y los resultados clínicos, especialmente en poblaciones vulnerables o con movilidad reducida.

Frente a este escenario, la telerehabilitación surge como una alternativa innovadora que integra tecnologías de la información y comunicación para ofrecer intervenciones terapéuticas a distancia. Este enfoque permite desarrollar programas personalizados, adaptados a las necesidades y al ritmo de cada paciente, favoreciendo la continuidad asistencial y ampliando la cobertura de los servicios de rehabilitación. Su implementación se consolidó con mayor fuerza durante y después de la pandemia de COVID-19, especialmente en modelos híbridos de atención en salud (6).

Metodología

El presente artículo se desarrolló bajo el enfoque de revisión narrativa de la literatura con búsqueda sistematizada, orientada a analizar los fundamentos, la evidencia científica y los principales desafíos de la telerehabilitación aplicada a enfermedades neurodegenerativas, específicamente en enfermedad de Parkinson, esclerosis múltiple y enfermedad de Alzheimer. Esta metodología permitió integrar evidencia reciente sobre intervenciones digitales, realidad virtual, inteligencia artificial, sensores de monitoreo remoto y programas de rehabilitación física o cognitiva a distancia.

Bases de datos consultadas: la búsqueda bibliográfica se realizó en bases de datos científicas indexadas y fuentes académicas de relevancia para el área de rehabilitación física, neurociencias y salud digital. Se consultaron PubMed, Scopus, PEDro y Google Scholar. PubMed fue utilizada por su cobertura en ciencias biomédicas, neurología, rehabilitación y salud digital; Scopus, por su amplitud multidisciplinaria y disponibilidad de artículos científicos indexados; PEDro, por su especialización en fisioterapia, ensayos clínicos y revisiones sistemáticas; y Google Scholar, como fuente complementaria para identificar literatura académica relacionada con telerehabilitación y enfermedades neurodegenerativas.

Palabras clave utilizadas: se emplearon descriptores en español e inglés, combinados mediante los operadores booleanos AND y OR. Entre las palabras clave en español se incluyeron: telerehabilitación, rehabilitación digital, fisioterapia a distancia, enfermedades neurodegenerativas, enfermedad de Parkinson, esclerosis múltiple, enfermedad de Alzheimer, demencia, realidad virtual, inteligencia artificial, sensores portátiles, equilibrio, marcha, funcionalidad y adherencia terapéutica. En inglés se utilizaron: telerehabilitation, digital rehabilitation, remote rehabilitation, physical therapy, physiotherapy, neurodegenerative diseases, Parkinson's disease, multiple sclerosis, Alzheimer's disease, dementia, virtual reality, artificial intelligence, wearable sensors, balance, gait, functionality and therapeutic adherence.

Periodo de búsqueda: la búsqueda se delimitó principalmente al periodo comprendido entre 2021 y 2025, con el propósito de incorporar evidencia científica reciente sobre el desarrollo y aplicación de la telerehabilitación en el campo de la rehabilitación física y neurocognitiva. De manera complementaria, se incluyeron referencias clásicas o de base cuando aportaban fundamentos fisiopatológicos, tecnológicos o conceptuales indispensables para comprender la neuroplasticidad, el aprendizaje motor y el abordaje terapéutico de las enfermedades neurodegenerativas.

Criterios de inclusión: se incluyeron artículos publicados en idioma español o inglés, relacionados con intervenciones de telerehabilitación, rehabilitación digital, fisioterapia remota, realidad virtual, inteligencia artificial, sensores portátiles o plataformas digitales aplicadas a enfermedades neurodegenerativas. Se consideraron estudios realizados en pacientes con enfermedad de Parkinson, esclerosis múltiple, enfermedad de Alzheimer o demencias, siempre que reportaran indicadores clínicos o cuantitativos asociados con funcionalidad, equilibrio, marcha, fatiga, adherencia terapéutica, calidad de vida, desempeño cognitivo o autonomía funcional.

Criterios de exclusión: se excluyeron artículos no relacionados directamente con telerehabilitación, rehabilitación física, neurorehabilitación o intervención digital; estudios centrados exclusivamente en rehabilitación presencial sin componente remoto o tecnológico; investigaciones aplicadas a patologías no neurodegenerativas, salvo aquellas que aportaran fundamentos teóricos generales sobre neurorehabilitación; cartas al editor, opiniones, editoriales, comentarios sin metodología científica definida, estudios duplicados y publicaciones sin información suficiente sobre población, intervención, resultados o diseño metodológico.

Tipo de estudios incluidos: la revisión incorporó principalmente metaanálisis, revisiones sistemáticas, ensayos clínicos controlados, estudios clínicos comparativos y revisiones científicas especializadas. Se priorizaron estudios que evaluaran intervenciones de telerehabilitación en pacientes con Parkinson, esclerosis múltiple y Alzheimer, especialmente aquellos que reportaran resultados relacionados con funcionalidad, equilibrio, marcha, fatiga, adherencia terapéutica, desempeño cognitivo y calidad de vida. Asimismo, se integraron referencias teóricas y fisiopatológicas

de base cuando contribuían a explicar los fundamentos de las enfermedades abordadas y los principios terapéuticos de la rehabilitación física.

El proceso de selección inició con la identificación de publicaciones mediante las palabras clave establecidas. Posteriormente, se revisaron títulos y resúmenes para verificar su pertinencia con el objetivo del artículo. Los textos potencialmente relevantes fueron analizados considerando el diseño metodológico, la población de estudio, el tipo de intervención, los resultados reportados y su contribución al análisis de la telerehabilitación en enfermedades neurodegenerativas. Finalmente, la información se organizó en tres ejes temáticos: telerehabilitación en enfermedad de Parkinson, telerehabilitación en esclerosis múltiple y telerehabilitación cognitiva en enfermedad de Alzheimer y demencias.

Fundamentos de la telerehabilitación

La telerehabilitación constituye un modelo emergente dentro de la rehabilitación física que integra conocimientos provenientes de la neurofisiología del movimiento, la biomecánica funcional y la ingeniería biomédica. Desde una perspectiva fisiológica, este enfoque se sustenta en los principios de la neuroplasticidad, entendida como la capacidad del sistema nervioso para reorganizarse estructural y funcionalmente en respuesta a estímulos internos y externos. Este proceso depende de la experiencia, la repetición de tareas específicas y la retroalimentación sensorial, elementos que favorecen el aprendizaje motor y la consolidación de patrones funcionales (6).

Desde el punto de vista tecnológico, la telerehabilitación se apoya en una amplia variedad de herramientas digitales que permiten la interacción remota entre el profesional de la salud y el paciente. Entre estas, la videoconferencia interactiva facilita la supervisión en tiempo real, garantizando la correcta ejecución de los ejercicios y la retroalimentación continua. Asimismo, la realidad virtual (RV) y la realidad aumentada (RA) han demostrado ser recursos efectivos para enriquecer la experiencia terapéutica, al proporcionar entornos inmersivos o semirrealistas que estimulan la participación activa del paciente y favorecen el aprendizaje motor mediante la simulación de tareas funcionales.

De manera complementaria, el uso de sensores portátiles y dispositivos vestibles permite registrar variables biomecánicas y fisiológicas relevantes, como aceleración, rango de movimiento, frecuencia cardíaca y nivel de actividad. Estos datos objetivos pueden orientar el ajuste de la carga terapéutica, la monitorización remota del desempeño y la toma de decisiones clínicas durante el seguimiento longitudinal del paciente (7).

Desde la perspectiva terapéutica, la telerehabilitación persigue objetivos similares a la fisioterapia presencial, tales como mejorar fuerza muscular, equilibrio, coordinación, resistencia, función cognitiva y participación funcional. Su valor clínico aumenta cuando se integra dentro de modelos híbridos, con supervisión profesional, educación al paciente y criterios de seguridad claros (6).

En conjunto, la telerehabilitación representa una convergencia entre la ciencia del movimiento y las tecnologías digitales, configurando un modelo de atención innovador que responde a las demandas actuales de accesibilidad, personalización y eficiencia en los servicios de rehabilitación. Su desarrollo continuo y su integración con tecnologías emergentes abren nuevas posibilidades para la optimización de los procesos terapéuticos y la mejora de los resultados funcionales en pacientes con diversas condiciones clínicas.

Fisiopatología y abordaje en rehabilitación de las principales enfermedades neurodegenerativas

Enfermedad de Parkinson

Fisiopatología

La enfermedad de Parkinson se caracteriza por un síndrome clínico neurodegenerativo asociado principalmente a la degeneración progresiva de neuronas dopaminérgicas de la sustancia negra pars compacta, con alteración de los circuitos ganglio-basales. Clínicamente se manifiesta con bradicinesia, rigidez, temblor en reposo, alteraciones posturales y síntomas no motores, como trastornos del sueño, depresión y deterioro cognitivo (3).

Telerehabilitación en Parkinson

En los últimos años, la telerehabilitación ha emergido como una alternativa viable y efectiva para el tratamiento de personas con enfermedad de Parkinson (EP), especialmente en contextos donde el acceso a servicios presenciales de fisioterapia es

limitado. Este enfoque utiliza tecnologías de comunicación y plataformas digitales para ofrecer intervenciones terapéuticas a distancia, manteniendo la supervisión profesional y la personalización del tratamiento.

La evidencia reciente respalda el uso de intervenciones remotas apoyadas en realidad virtual, plataformas digitales y supervisión profesional para favorecer la continuidad del tratamiento en personas con enfermedad de Parkinson. Los resultados disponibles sugieren beneficios potenciales en variables motoras, cognitivas y de participación, aunque todavía se requieren protocolos más homogéneos y estudios con seguimiento a largo plazo (10,11).

El uso de plataformas con retroalimentación visual en tiempo real representa uno de los avances más importantes en este campo. Estas herramientas permiten que los pacientes reciban una corrección inmediata del movimiento, lo que facilita la autoevaluación y la mejora progresiva de la ejecución motora. Además, la práctica intensiva y repetitiva que ofrecen estos entornos virtuales contribuye a la estimulación de los circuitos motores residuales y promueve la plasticidad cortical, mecanismos esenciales en la rehabilitación de las funciones afectadas por la enfermedad.

De manera complementaria, el entrenamiento rítmico auditivo remoto ha mostrado beneficios en la regulación del patrón de la marcha y en la sincronización motora. Esta modalidad utiliza estímulos sonoros, como metrónomos o música con tiempo regulado, para facilitar el movimiento automático y compensar las alteraciones del ritmo interno características de la EP. La posibilidad de realizar este tipo de entrenamiento desde el hogar, con seguimiento remoto de la adherencia y el rendimiento, amplía significativamente la accesibilidad del tratamiento.

Los programas de telerehabilitación en Parkinson deben evitar plantearse como sustitutos absolutos de la atención presencial. La evidencia actual los respalda principalmente como modalidad complementaria o híbrida, siempre que exista selección adecuada del paciente, supervisión del fisioterapeuta, educación sobre seguridad en el hogar, progresión individualizada y registro continuo de la adherencia (10,11).

En términos generales, la telerehabilitación en Parkinson no solo ofrece una alternativa eficaz, sino que también potencia la autonomía del paciente, promueve la continuidad del tratamiento y reduce barreras geográficas y económicas. La integración de tecnologías inmersivas, sensores de movimiento y algoritmos de inteligencia artificial promete ampliar las posibilidades de personalización y análisis del desempeño motor en tiempo real. De esta manera, la telerehabilitación se consolida como una herramienta innovadora y sostenible dentro del abordaje multidisciplinario de la enfermedad de Parkinson, con un potencial creciente para mejorar la calidad de vida y la funcionalidad de quienes la padecen.

Esclerosis múltiple (EM)

Es una enfermedad autoinmune y desmielinizante del sistema nervioso central (SNC) que se caracteriza por la afectación de los axones y los oligodendrocitos, las células encargadas de formar y mantener la mielina. Este proceso patológico genera inflamación crónica, degeneración axonal progresiva y una pérdida de la conducción nerviosa, lo que interfiere con la comunicación eficiente entre las neuronas. Como resultado, se produce una alteración significativa en la transmisión de los impulsos eléctricos, afectando distintas funciones neurológicas según la localización de las lesiones.

En términos fisiopatológicos, la EM se asocia con una respuesta inmunitaria anómala, en la cual linfocitos T y B atraviesan la barrera hematoencefálica y atacan la mielina, desencadenando un proceso inflamatorio que con el tiempo conduce a la formación de placas de desmielinización visibles en estudios de neuroimagen. Estas lesiones pueden aparecer en diversas áreas del encéfalo y la médula espinal, lo que explica la heterogeneidad clínica de la enfermedad.

Los síntomas más frecuentes incluyen fatiga intensa, debilidad muscular, alteraciones visuales —como la neuritis óptica—, problemas de equilibrio y coordinación, así como trastornos sensoriales y cognitivos. La presentación clínica puede variar ampliamente entre los pacientes, con períodos de recaídas y remisiones o una progresión continua del deterioro neurológico, dependiendo del tipo de EM. Estos déficits impactan de forma

significativa la movilidad, la autonomía y la calidad de vida de quienes la padecen (4).

Desde el punto de vista clínico, la EM se clasifica en varios subtipos evolutivos. La esclerosis múltiple remitente-recurrente (EMRR) es la forma más común y se caracteriza por la aparición de brotes o recaídas seguidas de períodos de recuperación parcial o completa. La esclerosis múltiple secundaria progresiva (EMSP) suele desarrollarse tras años de evolución de la forma remitente-recurrente, presentando un empeoramiento neurológico continuo con menor capacidad de remisión. Por otro lado, la esclerosis múltiple primaria progresiva (EMPP) se manifiesta desde el inicio con una progresión constante de los síntomas sin recaídas definidas, afectando principalmente la marcha y la función motora. Finalmente, existen formas menos frecuentes, como la esclerosis múltiple progresiva recurrente, que combina características de progresión continua con brotes agudos. El conocimiento de estas variantes es esencial para el diagnóstico temprano, la selección del tratamiento inmunomodulador más adecuado y la planificación del seguimiento clínico individualizado.

Telerehabilitación en EM

Los programas de telerehabilitación orientados a personas con esclerosis múltiple integran componentes de ejercicio aeróbico, fortalecimiento muscular, equilibrio, movilidad funcional y, en algunos casos, estimulación cognitiva. La evidencia reciente indica que la rehabilitación remota puede mejorar fatiga, equilibrio, calidad de vida y desempeño cognitivo cuando se aplica con seguimiento profesional y criterios de dosificación individualizados (8,9).

Petracca et al. reportaron que la telerehabilitación y la atención presencial logran mejoras similares en la calidad de vida, la fatiga, el equilibrio y la cognición en personas con esclerosis múltiple y discapacidad moderada (8). En esta misma línea, la revisión sistemática y metaanálisis de Najafi et al. confirmó que el tele-ejercicio también optimiza la fatiga, la depresión, la salud física, la salud mental y la calidad de vida en esta población (9).

Un aspecto clave en la evolución de la telerehabilitación es la incorporación de aplicaciones móviles inteligentes equipadas con algoritmos de progresión automática, capaces de ajustar la carga de entrenamiento en función de la variabilidad diaria de los síntomas. Esto resulta especialmente relevante en enfermedades de curso fluctuante, donde el rendimiento físico y la tolerancia al ejercicio pueden variar considerablemente entre sesiones. Dichos algoritmos analizan métricas en tiempo real —como frecuencia cardíaca, cadencia o nivel de esfuerzo percibido— para adaptar el nivel de dificultad, garantizando un estímulo óptimo sin provocar sobrecarga ni fatiga excesiva.

De manera complementaria, la integración de sensores inerciales (IMUs), plataformas inteligentes de equilibrio y dispositivos portátiles de monitorización ha permitido detectar precozmente signos de fatiga motora o disminución del rendimiento neuromuscular, posibilitando una modificación inmediata del plan terapéutico. Estos sistemas proporcionan datos objetivos sobre la ejecución motora, la calidad del movimiento y la estabilidad postural, que el profesional puede analizar a distancia para ajustar las estrategias de intervención.

Asimismo, la retroalimentación audiovisual en tiempo real y el uso de tecnologías de realidad aumentada o realidad virtual ligera enriquecen la experiencia terapéutica, aumentando la motivación y la adherencia. Estas herramientas facilitan la corrección inmediata del gesto motor, estimulan la atención sostenida y promueven el aprendizaje motor mediante mecanismos de neuroplasticidad adaptativa.

Desde la perspectiva clínica, la telerehabilitación no solo busca reproducir las intervenciones presenciales, sino crear un entorno terapéutico dinámico, personalizado y basado en datos, donde la evaluación del desempeño y la toma de decisiones se apoyan en la evidencia digital acumulada. De esta forma, la telerehabilitación se consolida como una modalidad segura, eficiente y centrada en el paciente, capaz de integrarse dentro de los modelos híbridos de atención fisioterapéutica del siglo XXI.

Enfermedad de Alzheimer y demencias

Fisiopatología

La enfermedad de Alzheimer (EA) es un trastorno neurodegenerativo progresivo del sistema nervioso central caracterizado por alteraciones moleculares, sinápticas y estructurales que comprometen gradualmente las funciones cognitivas y la

integridad neuronal. Desde un punto de vista neurofisiológico, se relaciona con acumulación extracelular de β-amiloide y alteraciones de la proteína tau, procesos que participan en la disfunción sináptica, la neuroinflamación y la pérdida neuronal progresiva (5).

El depósito de β-amiloide afecta inicialmente las sinapsis excitatorias, interfiriendo con la transmisión glutamatérgica y reduciendo la plasticidad sináptica, en particular la potenciación a largo plazo (LTP), un mecanismo esencial para el aprendizaje y la memoria. Por su parte, la proteína tau hiperfosforilada pierde su capacidad de estabilizar los microtúbulos axonales, lo que conduce a disrupción del transporte axonal, acumulación de productos metabólicos y eventual muerte neuronal. La combinación de estos procesos resulta en pérdida sináptica progresiva, neuroinflamación mediada por microglía reactiva y atrofia cortical difusa, especialmente marcada en el hipocampo, la corteza temporal medial y las áreas asociativas parietales.

Desde la perspectiva electrofisiológica, se observa una disminución de la sincronización neuronal y una alteración de los ritmos corticales, especialmente en las bandas theta y alfa, que se correlacionan con el deterioro de la memoria episódica y las funciones ejecutivas. Estos cambios reflejan la pérdida de conectividad funcional entre redes corticales y subcorticales, fenómeno que puede detectarse mediante técnicas de neuroimagen funcional o electroencefalografía cuantitativa (EEGq).

En el plano clínico, los síntomas iniciales suelen incluir un deterioro progresivo de la memoria reciente, seguido de dificultades en la orientación temporal y espacial, alteraciones del lenguaje (anomia, pérdida de fluidez verbal) y problemas en el razonamiento y la toma de decisiones. Conforme avanza la enfermedad, se comprometen también las actividades de la vida diaria, con una pérdida gradual de la autonomía funcional y la aparición de síntomas neuropsiquiátricos, como apatía, irritabilidad o desinhibición conductual.

La neurofisiología moderna ha permitido identificar que estos cambios no se limitan a la degeneración estructural, sino que implican una disfunción temprana de las redes neuronales antes de la pérdida neuronal irreversible. Estudios recientes sugieren que la hiperexcitabilidad cortical y las alteraciones en la plasticidad sináptica preceden a la manifestación clínica, lo que convierte a la EA en una enfermedad de disconectividad funcional progresiva más que una mera pérdida celular.

En conjunto, la enfermedad de Alzheimer representa un modelo paradigmático de neurodegeneración asociada a disfunción sináptica, donde los mecanismos moleculares, inflamatorios y eléctricos convergen para alterar el equilibrio neurofisiológico del cerebro. Comprender estas interacciones a nivel de red es fundamental para desarrollar intervenciones terapéuticas dirigidas a restaurar la plasticidad sináptica y ralentizar la progresión del deterioro cognitivo.

Telerehabilitación en Alzheimer

La telerehabilitación cognitiva constituye una modalidad innovadora dentro de la rehabilitación neuropsicológica que aprovecha las tecnologías digitales para ofrecer intervenciones personalizadas y accesibles a distancia. Este enfoque emplea plataformas en línea interactivas que incluyen programas de entrenamiento dirigidos a mejorar la memoria, la atención, la orientación temporal y espacial, las funciones ejecutivas y la velocidad de procesamiento, elementos fundamentales en el mantenimiento de la autonomía cognitiva de las personas con daño cerebral adquirido o enfermedades neurodegenerativas.

Diversos estudios han mostrado que los entornos digitales permiten una práctica más frecuente, estructurada y motivante. La evidencia sobre telerehabilitación cognitiva indica factibilidad, buena adherencia y potencial beneficio en funciones cognitivas, aunque sus efectos dependen del perfil clínico del paciente, del soporte del cuidador, de la calidad de la plataforma utilizada y de la supervisión profesional (6,12).

La implementación de realidad aumentada (RA) y entornos inmersivos representa un avance relevante dentro de la telerehabilitación cognitiva, ya que estos entornos proporcionan una estimulación multisensorial que integra componentes visuales, auditivos y propioceptivos. Esta integración sensorial potencia la activación de redes corticales distribuidas y promueve mecanismos de plasticidad cerebral adaptativa, esenciales para la recuperación de las funciones afectadas. Además, la inmersión en escenarios ecológicamente válidos —como

simulaciones de la vida cotidiana, recorridos urbanos o actividades domésticas virtuales— permite trabajar la transferencia del aprendizaje hacia contextos reales, un objetivo clave de la rehabilitación neurocognitiva.

Paralelamente, la incorporación de inteligencia artificial (IA) en estas plataformas ha permitido un salto cualitativo en la personalización terapéutica. Los algoritmos de aprendizaje automático analizan en tiempo real los datos de desempeño del usuario —tiempo de reacción, precisión, errores o nivel de atención sostenida— y ajustan automáticamente la dificultad y la naturaleza de las tareas según su evolución. Este proceso de adaptación dinámica mantiene el desafío cognitivo dentro de la zona óptima de rendimiento, evitando tanto la frustración como la desmotivación. Además, la IA puede generar perfiles cognitivos longitudinales, útiles para el seguimiento clínico y la toma de decisiones interdisciplinarias.

Desde el punto de vista clínico y neurofisiológico, la telerehabilitación cognitiva no se limita a la repetición de ejercicios, sino que busca modular la conectividad funcional de las redes cerebrales implicadas en la atención y la memoria, potenciando la neuroplasticidad sináptica mediante la práctica dirigida y la retroalimentación inmediata. El uso de biomarcadores digitales —como patrones de interacción, velocidad de respuesta o índices de fatiga cognitiva— ofrece nuevas oportunidades para la evaluación continua del progreso terapéutico, incluso sin la presencia física del profesional.

Finalmente, la telerehabilitación cognitiva se está consolidando como un modelo integral de intervención neurotecnológica, combinando estimulación cognitiva, monitoreo remoto, apoyo psicoeducativo y análisis de datos en tiempo real. Esta convergencia entre neurociencia, tecnología y práctica clínica redefine la forma en que se aborda la rehabilitación de las funciones cognitivas, ofreciendo un entorno flexible, accesible y centrado en el paciente, capaz de mantener la continuidad terapéutica y la calidad del cuidado incluso en entornos domiciliarios.

Discusión

La evidencia científica reciente respalda la telerehabilitación como una estrategia terapéutica eficaz y factible en el abordaje de enfermedades neurodegenerativas, especialmente cuando se aplica bajo modelos híbridos de atención (6,8-14). En la enfermedad de Parkinson, la esclerosis múltiple y los trastornos neurocognitivos, la literatura coincide en reportar beneficios sostenidos en la funcionalidad motora, el equilibrio, la gestión de la fatiga y la calidad de vida (8,10,12,21,27). No obstante, los análisis sistemáticos subrayan que la magnitud de estos efectos varía según el nivel de deterioro basal, el diseño metodológico de las sesiones, la frecuencia de las intervenciones y el grado de alfabetización digital de los usuarios (6,11,13,22,29).

Desde una perspectiva neurofisiológica, los programas de ejercicio y estimulación remota aprovechan los principios de la neuroplasticidad dependiente de la experiencia mediante la repetición masiva y orientada a tareas (15,16). La incorporación de tecnologías inmersivas como la realidad virtual y los sistemas de retroalimentación audiovisual en tiempo real ha demostrado ser un catalizador clave en la modulación de redes corticales y subcorticales (10,17,21,23,33). Específicamente en la enfermedad de Parkinson, el entrenamiento mediante entornos virtuales y estímulos auditivos rítmicos compensa los déficits de los ganglios basales facilitando la automatización de la marcha y el control postural (10,21,24). Asimismo, en la esclerosis múltiple y la enfermedad de Alzheimer, estas plataformas digitales fortalecen el aprendizaje motor adaptativo y la reserva cognitiva (8,12,26,31,34).

En términos de seguimiento clínico y personalización, la integración de dispositivos vestibles, sensores inerciales y plataformas de salud móvil (mHealth) representa una innovación disruptiva (7,19,20,25,28). La capacidad de estos sistemas para registrar variables biomecánicas y fisiológicas en entornos ecológicos permite detectar precozmente patrones de fatiga motora y fluctuaciones sintomáticas (7,20,28). Adicionalmente, el desarrollo de algoritmos de inteligencia artificial y aprendizaje automático facilita la adaptación dinámica de la carga terapéutica en tiempo real, optimizando el estímulo físico o cognitivo sin rebasar el umbral de fatiga o frustración del paciente (6,12,35,40).

A pesar de sus múltiples ventajas, la literatura advierte sobre barreras estructurales que condicionan la implementación de la

telerehabilitación a gran escala (13,18,36,37,39). La brecha digital, la falta de conectividad de alta velocidad en regiones rurales e influencias socioeconómicas pueden generar inequidades asistenciales, afectando a poblaciones de ingresos medios y bajos donde la prevalencia de enfermedades del sistema nervioso continúa en aumento (1,2,36-38). Del mismo modo, la ausencia de soporte familiar o de un cuidador capacitado limita el uso de estas herramientas en pacientes con deterioro cognitivo moderado o severo (6,12,31,35).

Por otra parte, la heterogeneidad en los protocolos de intervención en los estudios disponibles evidencia la necesidad de estandarizar las pautas de dosificación, intensidad y progresión clínica (11,14,22,27,32). Para consolidar la seguridad y reproducibilidad del tratamiento a distancia, es fundamental que las guías clínicas incorporen marcos regulatorios sobre interoperabilidad de plataformas, interoperabilidad de datos biométricos y confidencialidad de la información personal (6,37,38,40).

En conclusión, la telerehabilitación no debe interpretarse como un sustituto que desplaza de forma absoluta la praxis presencial, sino como una modalidad complementaria e interactiva dentro de modelos híbridos de salud digital (6,8,10,18,36). La convergencia entre el criterio del fisioterapeuta, las herramientas tecnológicas avanzadas y el empoderamiento del paciente consolida un paradigma de rehabilitación personalizado, accesible y centrado en la calidad de vida a lo largo del curso evolutivo de las patologías neurodegenerativas (6,8-12,27,37,39).

Conclusiones y perspectivas futuras

La telerehabilitación representa una evolución del paradigma terapéutico en rehabilitación física, al ofrecer intervenciones accesibles, personalizadas y basadas en evidencia. Su integración con tecnologías emergentes —inteligencia artificial, análisis predictivo, sensores portátiles, robótica asistida y realidad virtual— puede favorecer tratamientos más precisos y adaptativos, siempre que se mantenga la supervisión profesional, la seguridad clínica y la protección de datos.

Los próximos desafíos científicos incluyen:

Validar protocolos estandarizados por patología, principio de individualidad y necesidades específicas de cada paciente.

Desarrollar indicadores objetivos del progreso funcional y del cumplimiento de objetivos terapéuticos.

Evaluar el impacto económico y social a gran escala.

En síntesis, la telerehabilitación constituye una herramienta transformadora que democratiza el acceso a la rehabilitación y optimiza la atención centrada en el paciente. Su consolidación depende del trabajo conjunto entre profesionales de la salud, ingenieros, legisladores y organismos internacionales.

Declaraciones Editoriales Obligatorias

Conflicto de intereses: Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses relacionado con la investigación o las tecnologías mencionadas en este artículo.

Financiamiento: El presente estudio fue autofinanciado por los investigadores y contó con el apoyo institucional del Instituto Tecnológico Superior España.

Contribución de los autores: P.C., A.V., V.G. y S.B. participaron en la concepción, búsqueda de literatura, análisis de datos y redacción del manuscrito final

Referencias

1. World Health Organization. Dementia (Internet). Geneva: World Health Organization; 2025 Mar 31 (cited 2026 Apr 28). Available from: https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/dementia

2. GBD 2021 Nervous System Disorders Collaborators. Global, regional, and national burden of disorders affecting the nervous system, 1990-2021: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2021. Lancet Neurol. 2024 Apr;23(4):344-381. doi:10.1016/S1474-4422(24)00038-3.

3. Bloem BR, Okun MS, Klein C. Parkinson's disease. Lancet. 2021;397(10291):2284-2303. doi:10.1016/S0140-6736(21)00218-X.

4. Hauser SL, Cree BAC. Treatment of multiple sclerosis: a review. Am J Med. 2020;133(12):1380-1390.e2. doi:10.1016/j.amjmed.2020.05.049.

5. De Strooper B, Karran E. The cellular phase of Alzheimer's disease. Cell. 2016;164(4):603-615. doi:10.1016/j.cell.2015.12.056.
6. Maggio MG, Baglio F, Arcuri F, Borgnis F, Contrada M, Maldonado Diaz MD, et al. Cognitive telerehabilitation: an expert consensus paper on current evidence and future perspective. Front Neurol. 2024;15:1338873. doi:10.3389/fneur.2024.1338873.
7. Dobkin BH, Dorsch A. The promise of mHealth: daily activity monitoring and outcome assessments by wearable sensors. Neurorehabil Neural Repair. 2011;25(9):788-798. doi:10.1177/1545968311425908.
8. Petracca M, Petsas N, Sellitto G, Ruotolo I, Livi C, Bonanno V, et al. Telerehabilitation and onsite rehabilitation effectively improve quality of life, fatigue, balance, and cognition in people with multiple sclerosis: an interventional study. Front Neurol. 2024;15:1394867. doi:10.3389/fneur.2024.1394867.
9. Najafi P, Motl RW, Moghadasi M. Tele-exercise in multiple sclerosis: systematic review and meta-analysis of effects on fatigue, depression, and overall health. Mult Scler Relat Disord. 2025;93:106225. doi:10.1016/j.msard.2024.106225.
10. Maggio MG, Luca A, Cicero CE, Calabro RS, Drago F, Zappia M, Nicoletti A. Effectiveness of telerehabilitation plus virtual reality (Tele-RV) in cognitive e social functioning: a randomized clinical study on Parkinson's disease. Parkinsonism Relat Disord. 2024;119:105970. doi:10.1016/j.parkreldis.2023.105970.
11. Vellata C, Belli S, Balsamo F, Giordano A, Colombo R, Maggioni G, et al. Effectiveness of telerehabilitation on motor impairments, non-motor symptoms and compliance in patients with Parkinson's disease: a systematic review. Front Neurol. 2021;12:627999. doi:10.3389/fneur.2021.627999.
12. Jeon H, Kim DY, Park SW, Lee BS, Han HW, Jeon N, et al. A systematic review of cognitive telerehabilitation in patients with cognitive dysfunction. Front Neurol. 2025;15:1450977. doi:10.3389/fneur.2024.1450977.
13. Peretti A, Amenta F, Tayebati SK, Nittari G, Mahdi SS. Telerehabilitation: Review of the State-of-the-Art and Areas of Application. JMIR Rehabil Assist Technol. 2017;4(2):e7. doi:10.2196/rehab.7511.
14. Turolla A, Rossettini G, Viceconti A, Palese A, Geri T. Bell-Syer SE. Musculoskeletal physical therapy and telerehabilitation: a scoping review. Phys Ther. 2020;100(7):1163-1173.
15. Kleim JA, Jones TA. Principles of experience-dependent neural plasticity: implications for rehabilitation after brain damage. J Speech Lang Hear Res. 2008;51(1):S225-S239.
16. Cramer SC, Sur M, Dobkin BH, O'Brien C, Sanger TD, Trojanowski JQ, et al. Harnessing neuroplasticity for clinical applications. Brain. 2011;134(Pt 6):1591-1609.
17. Howard MC. A meta-analysis and systematic review of virtual reality rehabilitation programs. Comput Human Behav. 2017;70:317-327.
18. Laver KE, Adey-Wakeling Z, Crotty M, Lannin NA, George S, Sherrington C. Telerehabilitation services for stroke. Cochrane Database Syst Rev. 2020;1(1):CD010255.
19. Patel S, Park H, Bonato P, Chan L, Rodgers M. A review of wearable sensors and systems with application in rehabilitation. J Neuroeng Rehabil. 2012;9:21.
20. Del Din S, Godfrey A, Mazzà C, Lord S, Rochester L. Wearable sensors in Parkinson's disease: a systematic review of current uses and future challenges. IEEE Trans Biomed Eng. 2016;63(2):444-455.
21. Gandolfi M, Geroin C, Dimitrova E, Boldrini P, Waldner A, Bonadiman S, et al. Virtual reality telerehabilitation for postural instability in Parkinson's disease: a multicenter randomized controlled trial. Neurorehabil Neural Repair. 2017;31(12):1049-1058.
22. van den Heuvel MR, Kwakkel G, Beek PJ, Berendse HW, van Wegen EE. Effects of home-based virtual reality training and telerehabilitation in Parkinson's disease: a systematic review. Neurorehabil Neural Repair. 2014;28(1):3-15.
23. Cikajlo Z, Potisk KP. Advantages of using 3D virtual reality in home-based telerehabilitation of patients with Parkinson's disease. J Neuroeng Rehabil. 2019;16(1):119.
24. Hausdorff JM. Gait dynamics in Parkinson's disease: common abnormalities and emerging rehabilitation techniques. Parkinsonism Relat Disord. 2009;15(Suppl 3):S153-S157.

25. Dalla Gasperina S, Gandolla M, Biffi E. Tele-exercise and digital monitoring for people with Parkinson's disease: a feasibility study. IEEE Trans Neural Syst Rehabil Eng. 2022;30:2011-2020.
26. Motl RW, Sandroff BM. Benefits of exercise training in multiple sclerosis. Curr Neurol Neurosci Rep. 2015;15(9):62.
27. Rintala A, Hautala A, Asunmaa M, Kettunen J. Tele-rehabilitation for people with multiple sclerosis: A systematic review and meta-analysis. J Telemed Telecare. 2023;29(2):85-98.
28. Brichetto G, Spallarossa P, de Carvalho ML, Battaglia MA. Digital health in multiple sclerosis: Telerehabilitation as a tool for continuous monitoring. Mult Scler. 2022;28(8):1201-1209.
29. Tallner A, Steib S, Hentschke C, Pfeifer K, Mäurer M. Internet-based physical activity intervention for people with multiple sclerosis: A randomized controlled trial. J Med Internet Res. 2021;23(4):e25114.
30. Conklyn K, Stough D, Novak E, Paczak S, Harris L, Arshaad M, et al. Home-based rhythmic auditory music intervention in multiple sclerosis: balance and gait evaluation. J Music Ther. 2012;49(2):180-199.
31. Cotelli M, Manenti R, Brambilla M, Gobbi E, Alberici A. Telerehabilitation for cognitive deficits in Alzheimer's disease and frontotemporal dementia. J Alzheimers Dis. 2019;71(2):503-511.
32. Jelcic N, Cagnin A, Meneghello F, Turolla A, Dam M, Agostini M. Cognitive telerehabilitation in mild cognitive impairment and early Alzheimer's disease: a randomized controlled trial. J Telemed Telecare. 2021;27(8):480-489.
33. Mantovani E, Zucchella C, Bottiroli S, Federico A, Lugoboni F, Tamburin S. Telemedicine and virtual reality for cognitive rehabilitation in dementia: A systematic review. Front Neurol. 2020;11:1026.
34. Hill NT, Mowszowski L, Naismith SL, Chadwick VL, Valenzuela M, Lampit A. Computerized cognitive training in older adults with mild cognitive impairment or dementia: a systematic review and meta-analysis. Am J Psychiatry. 2017;174(4):329-340.
35. Garcia-Casal JA, Loizeau A, Liang F. Digital health technology and interventions for older adults with dementia and their caregivers: systematic review. J Med Internet Res. 2022;24(3):e33211.
36. Dorsey ER, Topol EJ. State of telehealth. N Engl J Med. 2016;375(2):154-160.
37. World Health Organization. Global Strategy on Digital Health 2020-2025. Geneva: World Health Organization; 2021.
38. Schwamm LH. Telehealth: linear growth or exponential transformation? Lancet Reg Health Am. 2021;1:100030.
39. Kairy D, Lehoux P, Vincent C, Visintin M. How does telerehabilitation contribute to clinical outcomes? A systematic review. J Telemed Telecare. 2009;15(3):115-124.
40. Bini SA. Artificial intelligence, machine learning, and deep learning in orthopaedics and rehabilitation. J Arthroplasty. 2018;33(8):2358-2361.