

La ingeniería de rehabilitación traza nuevos caminos para reconstruir vidas

Recuperar la marcha, alzar un brazo, cerrar una mano: actos que fueron automáticos y que, para quienes han sufrido una lesión o enfermedad incapacitante, exigen ciencia, precisión y esperanza. En España, una comunidad de ingenieros, terapeutas y médicos ha construido una nueva forma de entender la rehabilitación, donde la tecnología no sustituye al cuidado, sino que lo prolonga, lo personaliza y lo acompaña. Cada avance es fruto de una alianza: ciencia, ingeniería y atención sanitaria se unen para devolver capacidades a quienes han visto limitada su movilidad.



Paciente con lesiones camina sobre una cinta de correr con "piernas robóticas avanzadas" o exoesqueleto de piernas. Foto: Shutterstock.

Mariana Morcillo

Hasta bien entrados los años sesenta, la rehabilitación terapéutica se centraba más en paliar limitaciones que en restituir capacidades. Pero desde 1965, con el Institut Guttmann, y posteriormente con el desarrollo del Centro de Investigación en Ingeniería Biomédica (CREB) de la Universitat Politècnica de Catalunya en los años noventa, España emprendió un camino propio en ingeniería aplicada a la rehabilitación clínica.

La combinación de biomecánica, robótica, sensorización y simulación ha dado forma a una disciplina aplicada y madura, orientada a recuperar funciones perdidas con criterios de precisión, eficacia y humanidad. Hoy, diversos equipos mixtos trabajan en soluciones

validadas clínicamente, implementadas en hospitales y diseñadas para llegar incluso a los hogares.

A través de dispositivos robóticos, plataformas digitales y herramientas de fabricación personalizada, esta disciplina acompaña a las personas en el camino hacia la recuperación funcional, devolviéndoles movilidad y autonomía en su vida cotidiana.

Tecnología robótica

Volver a caminar no es solo avanzar con los pies, es reconstruir la relación del cuerpo con el espacio y retomar el contacto activo con su entorno. En este reto, los exoesqueletos robóticos han pasado de ser prototipos experimentales a convertirse en herramientas clínicas de uso

real, diseñadas para acompañar la marcha con precisión, seguridad y adaptabilidad.

Uno de los desarrollos más relevantes en España es el exoesqueleto pediátrico ATLAS 2030, concebido por Marsi Bionics en colaboración con el CSIC. Esta solución ha sido específicamente diseñada para niños con atrofia muscular espinal y parálisis cerebral. Integra actuadores en las principales articulaciones de las extremidades inferiores, sensores inerciales que detectan el patrón de marcha y un sistema de control inteligente que ajusta el movimiento en tiempo real según la intención motora del usuario. Su éxito no solo radica en la precisión biomecánica, sino en el hecho de haber sido certificado como compo-

nente médico y haber sido implementado en centros hospitalarios de Alemania, Francia y España. Cada sesión con ATLAS 2030 permite al niño experimentar de nuevo la verticalidad, entrenar el equilibrio y reforzar la musculatura, con resultados palpables tanto en lo físico como en lo emocional.

A partir de esta experiencia, se desarrolló el modelo Explorer, dirigido a usuarios adultos y adaptado al ámbito ambulatorio. Este exoesqueleto incorpora baterías de mayor autonomía, sensores plantares para detectar el reparto de cargas y algoritmos de autoaprendizaje que ajustan el movimiento a las variaciones posturales del enfermo. En lugar de estar limitado a entornos clínicos, Explorer ha sido concebido para funcionar en centros de día, domicilios o residencias y está siendo evaluado a través de ensayos clínicos dentro del Sistema Nacional de Salud. El seguimiento funcional a largo plazo se realiza en colaboración con hospitales públicos y asociaciones de pacientes, con el objetivo de validar su eficacia en contextos cotidianos.

También en el ámbito de la marcha, el proyecto ABLE, desarrollado por la empresa Able Human Motion con el apoyo de centros universitarios y clínicos, ofrece una solución avanzada y modular para adultos con lesión medular. Su estructura ligera, de fácil colocación y control intuitivo, ha permitido una mejora significativa en tareas como la bipedestación y la marcha asistida en entornos controlados. Este exoesqueleto ha sido validado en centros europeos de referencia y ya se encuentra en fase de comercialización.

Estos avances no son solo logros técnicos: cada paso con asistencia robótica es una forma de recuperar autonomía, reducir la dependencia y reconectar con el propio cuerpo. La tecnología se adapta al ritmo del sujeto y le acompaña en su camino de recuperación motora.

Telerrehabilitación y monitorización remota

Cuando la distancia, la movilidad o el tiempo limitan el acceso a la rehabilitación, la tecnología garantiza que la terapia transcurra sin interrupciones. Surge así la telerrehabilitación, una técnica que permite llevar el tratamiento hasta el domicilio sin perder seguimiento, precisión ni personalización.

Entre las soluciones más avanzadas en este ámbito destaca un sistema de-



La rehabilitación con el exoesqueleto pediátrico ATLAS 2030 permite recuperar la verticalidad, entrenar el equilibrio y reforzar la musculatura. Fuente: Marsi Bionics.

sarrollado por la Universidad del País Vasco que lleva la precisión clínica al entorno doméstico. La plataforma KiReS (Kinect Rehabilitation System) permite realizar ejercicios terapéuticos desde casa con supervisión remota, gracias a sensores RGB-D y algoritmos que analizan el movimiento en tiempo real. Los datos recogidos se convierten en informes que orientan el trabajo del fisioterapeuta, permitiéndole ajustar los tratamientos con mayor precisión. Su diseño abierto, adaptable a distintos entornos y patologías, favorece la adopción por servicios públicos y asociaciones de pacientes. Las pruebas piloto han demostrado una mayor continuidad en la terapia, mejor percepción del control por parte del usuario y un vínculo más estrecho con el profesional, que mantiene su criterio clínico respaldado por información objetiva.

Proyectos como KiReS demuestran que es posible tratar sin estar presente físicamente, acompañar sin invadir el espacio doméstico y mantener la calidad del tratamiento sin importar la distancia.

Videojuegos terapéuticos

En el campo de la rehabilitación pediátrica, mantener la atención y la constancia del niño puede marcar la diferencia entre una terapia estancada y una recuperación progresiva. Aquí, el juego se puede convertir en una herramienta terapéutica. La gamificación estimula la neuroplasticidad, genera implicación emocional y transforma la monotonía de la repetición

en un divertido entretenimiento con propósitos clínicos.

La Universidad Carlos III de Madrid, en colaboración con la mutua Asepeyo, ha desarrollado una serie de videojuegos diseñados específicamente para niños con afectaciones motoras, como parálisis cerebral o lesiones traumáticas. Títulos como Peter Jumper y Andrómeda integran sensores de presión y desplazamiento que registran la actividad del menor durante el juego y la traducen en datos clínicamente relevantes. A través de dinámicas de salto, coordinación manual o alcance de objetivos, se realizan ejercicios de movilidad de miembros superiores e inferiores sin que la experiencia pierda el componente lúdico.

Los videojuegos incluyen retroalimentación audiovisual instantánea, sistemas de recompensa progresiva y adaptabilidad en la dificultad, lo que permite ajustar la carga terapéutica al estado físico y emocional del niño. El entorno gráfico ha sido diseñado con estética amigable y una ambientación motivadora, fomentando la participación activa incluso en fases de rehabilitación en las que el compromiso suele decaer. Algunos estudios clínicos han demostrado que el uso de estas plataformas ha reducido el abandono terapéutico hasta en un 40%, especialmente en infantes con patologías crónicas o secuelas de traumatismos.

Para complementar estos videojuegos, se ha desarrollado eJamar, un sistema portátil orientado a evaluar y mejo-



ABLE es un exoesqueleto ligero y rápido de ajustar para neurorrehabilitación en entornos clínicos. Fuente: Able Human Motion.

rar la fuerza de agarre y la coordinación fina. A través de sensores integrados en una pinza de presión, el dispositivo permite realizar minijuegos de precisión, como atrapar objetos virtuales o seguir trayectorias, todo mientras se registran parámetros como la fuerza isométrica, la simetría entre manos y la resistencia a la fatiga. Esta solución ha sido especialmente eficaz en casos de hemiparesia infantil, donde la implicación emocional del niño es tan importante como la activación neuromuscular.

Para muchas familias, estos sistemas han devuelto la sonrisa a un espacio que

antes estaba marcado por el esfuerzo y la frustración. Y para los terapeutas, suponen una herramienta valiosa para cuantificar el progreso, reforzar el vínculo con el paciente y adaptar los objetivos sin renunciar a la motivación.

Ortesis y prótesis impresas en 3D

Cada cuerpo es único. Cada lesión, también. Por eso, la rehabilitación no puede basarse únicamente en soluciones estándar. La fabricación aditiva ha abierto la puerta a una nueva generación de soluciones protésicas personaliza-

das, diseñadas con precisión anatómica, adaptadas a la biomecánica de cada persona y producidas con rapidez en entornos clínicos.

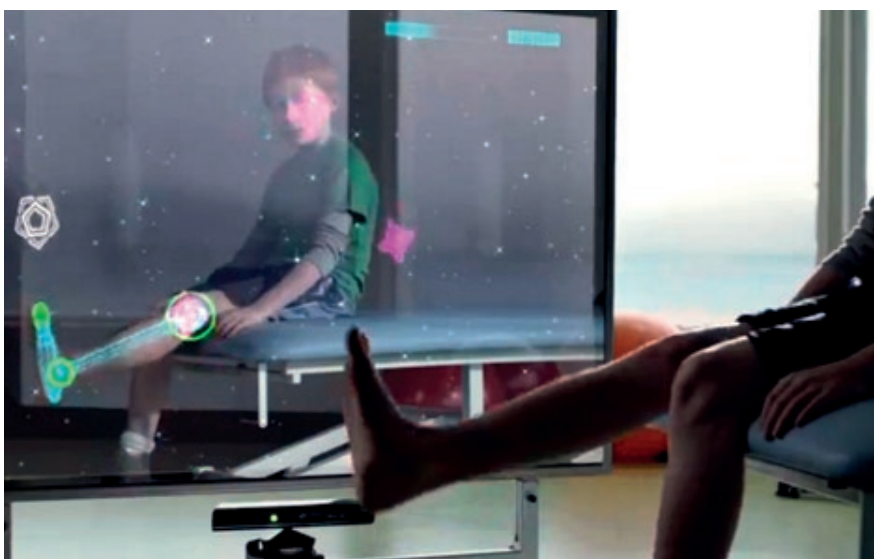
En el marco de la iniciativa Red de Living Labs de Salud de Galicia (Lab-saúde), impulsada por la Agencia Gallega para la Gestión del Conocimiento en Salud (ACIS), dependiente del Servicio Gallego de Salud (SERGAS), se ha completado un ecosistema de trabajo que integra escaneado corporal, modelado CAD, simulación estructural y fabricación aditiva en un flujo digital continuo. Mediante escáneres de luz estructurada o captura por fotogrametría, se obtiene un modelo tridimensional del miembro afectado. A partir de ahí, se diseña en CAD una ortesis o prótesis adaptada a la morfología, al rango articular y a los puntos de apoyo necesarios para la función terapéutica.

El diseño no se limita a la forma: se simula su comportamiento mecánico mediante herramientas FEM (análisis por elementos finitos), que permiten optimizar espesores, rigidez y distribución de cargas. Este paso resulta clave para garantizar la resistencia del dispositivo sin sobrepeso innecesario, algo fundamental en pediatría y cuando existe fatiga muscular. En función del uso previsto, se emplean materiales como poliamidas técnicas, TPU o composites reforzados, capaces de soportar ciclos repetitivos de carga sin deformación estructural.

La producción se realiza mediante impresión 3D de tipo FDM o SLS, dependiendo del material y del nivel de detalle requerido. El resultado son férulas, ortesis dinámicas o plantillas que se ajustan con precisión al paciente desde la primera colocación. En colaboración con el Sergas, se ha evaluado clínicamente este modelo de trabajo, obteniendo una reducción de los tiempos de entrega de hasta un 70% respecto al proceso convencional, además de una mejora notable en la tolerancia y satisfacción del usuario.

Pero el impacto no se limita a la eficacia clínica. La posibilidad de personalizar el color, la textura o el diseño gráfico de una férula ha tenido un efecto positivo en la disposición del paciente a seguir con la rehabilitación, especialmente en la población infantil y en personas mayores con deterioro cognitivo leve.

A nivel profesional, este modelo ha modificado el perfil del técnico ortopédico. Ya no basta con moldear escayolas:



Gracias a la plataforma KiReS (Kinect Rehabilitation System), el paciente puede realizar ejercicios terapéuticos desde casa con supervisión remota. Fuente: Universidad del País Vasco.



Los videojuegos diseñados por la Universidad Carlos III de Madrid han sido concebidos para la rehabilitación de niños afectados por parálisis cerebral o lesiones traumáticas. Fuente: Universidad Carlos III.

ahora se requieren conocimiento en modelado digital y simulación biomecánica. Por esa razón, Labsaúde ha iniciado programas de formación técnica para capacitar a profesionales en este nuevo entorno digital.

La fabricación aditiva ha demostrado que la precisión, la adaptabilidad y la velocidad pueden convivir en un mismo dispositivo clínico. En cada ortesis impresa hay ingeniería, pero también hay un profesional que escucha y un diseño personalizado.

Sistemas integrados para rehabilitación neurológica

Cuando el daño afecta al sistema nervioso, la recuperación ya no depende solo del músculo: necesita intervención

sobre la atención, el equilibrio emocional y la organización del movimiento. En estos casos, la ingeniería de rehabilitación se despliega en todas sus dimensiones, combinando hardware, software y ciencia del comportamiento para diseñar sistemas terapéuticos completos, capaces de atender al paciente de forma integral.

Uno de los desarrollos más ambiciosos en esta línea es el conseguido por la empresa NeuroVital (Instituto de Rehabilitación Avanzada) junto al Instituto de Bioingeniería y al Grupo de Neuroingeniería Biomédica de la Universidad Miguel Hernández de Elche. Esta estrecha colaboración ha permitido a NeuroVital disponer de equipos robóticos y técnicas de realidad virtual inmersiva de última generación para ayudar a la re-

habilitación de los pacientes con daño neurológico.

La plataforma de NeuroVital está compuesta por una serie de módulos interconectados que permiten diseñar sesiones personalizadas y adaptables. El enfermo puede trabajar la coordinación óculo-manual mediante gafas de realidad aumentada que simulan entornos domésticos, estimular la atención y la capacidad de concentración mediante tabletas interactivas, o seguir rutinas motoras con sensores que captan el movimiento en tiempo real. Toda esta información se registra automáticamente en un sistema central que genera informes clínicos para los distintos profesionales implicados.

Gracias a su implantación en centros sociosanitarios de la Comunidad Valenciana, NeuroVital ha mostrado resultados significativos en casos de ictus y enfermedades neurodegenerativas en fase inicial. Entre las mejoras observadas figuran la recuperación de la bipedestación funcional, el incremento de la capacidad atencional y la estabilización del estado emocional en fases críticas del tratamiento. Pero quizá el cambio más profundo ha sido subjetivo: las personas que utilizan este sistema sienten que participan activamente en su tratamiento, pueden visualizar sus progresos y comprenden cada paso del proceso.

El módulo profesional de NeuroVital refuerza aún más esta lógica integradora. A través de simulaciones clínicas y escenarios de toma de decisiones, permite formar a terapeutas en el uso de nuevas soluciones y preparar al personal para un entorno de rehabilitación más digital, más compartido y más coordinado. Esta dimensión docente garantiza la sostenibilidad del sistema y su replicabilidad en otros centros.

El verdadero valor de NeuroVital no radica solo en sus componentes técnicos, sino en su capacidad para articular una intervención compleja poniendo a la persona en el centro. Integra a médicos, terapeutas, psicólogos y familiares en una misma plataforma, rompiendo las barreras tradicionales entre disciplinas.

Todos estos proyectos tienen en común una perspectiva colaborativa, progresiva y profundamente humana. Es en esta confluencia donde la ingeniería de rehabilitación deja de ser una promesa para convertirse en una realidad centrada en las personas que necesitan reconstruir sus vidas.



La estrecha colaboración de NeuroVital con el Instituto de Bioingeniería y el Grupo de Neuroingeniería Biomédica de la Universidad Miguel Hernández de Elche, hace que NeuroVital pueda disponer de equipos robóticos y técnicas de realidad virtual inmersiva de última generación para ayudar a la rehabilitación de los pacientes con daño neurológico. En la imagen, paciente realizando actividades de rehabilitación del miembro superior. Fuente: NeuroVital y la Universidad Miguel Hernández de Elche.