

SALUD DIGITAL Y DOLOR

Guía para profesionales 2026

Editada por
Héctor Beltrán Alacreu
José Antonio Moral Muñoz



Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución-CompartirIgual 4.0 Internacional. Para ver una copia de esta licencia, visite <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>

© 2026 Editorial de la SED y autores

ISBN: 978-84-09-86825-4

Impresión: Impala Print Group, S.L.

Diseño e ilustraciones: Eva Tordera Nuño

Algunas ilustraciones de esta obra han sido generados mediante herramientas de creación visual asistida por inteligencia artificial a partir de indicaciones conceptuales de los autores.

Parte del proceso de redacción y revisión textual contó con el apoyo de ChatGPT (modelo GPT-5, desarrollado por OpenAI), utilizado exclusivamente como herramienta de asistencia en tareas de estructuración de contenidos, redacción preliminar y revisión estilística. La supervisión científica, revisión crítica y responsabilidad final del contenido corresponden exclusivamente al autor.

Depósito Legal: M-13041-2026

Aviso médico / descargo de responsabilidad

La información contenida en esta obra tiene fines educativos y de divulgación científica. Aunque se ha realizado un esfuerzo riguroso para asegurar la exactitud de los contenidos, el autor y la editorial no asumen responsabilidad por posibles errores u omisiones ni por las consecuencias derivadas del uso de la información aquí presentada.

Este libro no sustituye la valoración clínica individual ni el juicio profesional de los profesionales sanitarios. Las ilustraciones incluidas en esta obra tienen una finalidad didáctica y conceptual. Algunas figuras representan simplificaciones anatómicas o modelos visuales de fenómenos fisiológicos y tecnológicos (p. ej. entornos virtuales o visualizaciones digitales), diseñados para facilitar la comprensión de los contenidos y no necesariamente para reproducir con exactitud todas las condiciones clínicas o anatómicas.

SALUD DIGITAL Y DOLOR

Guía para profesionales 2026

Editores

Héctor Beltrán Alacreu
José Antonio Moral Muñoz

Autores

Héctor Beltrán Alacreu
José Ferrer Costa
Raúl Ferrer Peña
Rafael González Cano
Javier Guerra Armas
José Javier López Marcos
Marta Matamala-Gómez
José Antonio Moral Muñoz
Marta Moreno Ligeró
Eva Tordera Nuño



AUTORES • 6

PRÓLOGO • 10

María Madariaga Muñoz

DECLARACIÓN DE USO DE INTELIGENCIA ARTIFICIAL Y HERRAMIENTAS DIGITALES • 13

SALUD DIGITAL • 15

José Antonio Moral Muñoz y Raúl Ferrer Peña

- Introducción • 16
- Definición y contextualización de la salud digital • 17
- Beneficios y limitaciones de la salud digital • 21
- Innovación e ideación en salud digital • 24
- El futuro de la salud digital en dolor • 27



TERAPIAS DIGITALES • 33

José Ferrer Costa y Raúl Ferrer Peña

- Definición y principios de las terapias digitales • 34
- Regulación • 37
- Investigación clínica con terapias digitales • 41
- Tecnologías disponibles • 45
- Casos de éxito • 50



TELEMEDICINA Y Telerrehabilitación EN EL MANEJO DEL DOLOR • 55

José Antonio Moral Muñoz y Marta Matamala-Gómez

- Introducción • 56
- Aplicaciones en el tratamiento del dolor • 62
- Evidencia científica • 65
- Selección de herramientas según objetivo clínico • 67
- Casos de éxito • 70
- Recomendaciones para la implementación clínica de la telemedicina y la telerrehabilitación en el dolor • 72
- Conclusiones prácticas: hacia un modelo híbrido, seguro y clínicamente útil • 76



MONITORIZACIÓN DIGITAL DEL DOLOR • 79

Marta Moreno Ligeró, José Antonio Moral Muñoz y Héctor Beltrán Alacreu

- Definición y fundamentos teóricos • 80
- Tecnologías disponibles para la monitorización digital del dolor • 85
- Aplicaciones clínicas basadas en evidencia científica • 88
- Comparación con los métodos tradicionales • 92
- Barreras y limitaciones • 94
- Modelo integrador • 97
- Criterios prácticos para el clínico • 99
- Conclusión • 102





REALIDAD EXTENDIDA EN EL MANEJO DEL DOLOR • 105

*Marta Matamala-Gómez, José Ferrer Costa,
Javier Guerra Armas y Héctor Beltrán Alacreu*

- Realidad extendida • 106
- Fundamentos neurocientíficos de la realidad extendida en el manejo del dolor • 112
- Neuroplasticidad y reorganización cerebral • 115
- Un modelo integrador de los mecanismos de acción de la realidad extendida en el dolor • 118
- Dosis en realidad extendida para el manejo del dolor • 124
- Implementación clínica de la realidad extendida en el manejo del dolor • 128
- Cómo elegir e integrar la realidad extendida en la práctica clínica • 131
- Retos actuales y perspectivas futuras de la realidad extendida en el manejo del dolor • 136
- Conclusión • 138



INTELIGENCIA ARTIFICIAL Y DOLOR • 141

Raúl Ferrer Peña, Rafael González Cano y José Javier López Marcos

- Fundamentos de inteligencia artificial • 142
- Regulaciones y desafíos éticos • 149
- Aplicaciones en dolor • 151
- Evidencia y casos de éxito • 155
- Marco decisional para la práctica clínica • 158



CONSIDERACIONES FINALES Y FUTURO DE LA SALUD DIGITAL EN EL MANEJO DEL DOLOR • 165

Eva Tordera Nuño y Rafael González Cano

- Síntesis de los avances clave y su impacto transformador: hacia un ecosistema digital del dolor realmente operativo • 167
- De la herramienta aislada a la plataforma • 169
- El laboratorio digital del dolor: la revolución en investigación y descubrimiento de fármacos • 175
- Reflexión sobre los puntos fuertes y las limitaciones • 178
- La innovación tecnológica como complemento, no sustituto, del cuidado humano • 180

MENSAJES CLAVE • 182

BIBLIOGRAFIA • 184

REVISORES • 207



Héctor Beltrán Alacreu es Profesor Titular de Universidad en la Facultad de Fisioterapia y Enfermería de la Universidad de Castilla-La Mancha (UCLM). Es fisioterapeuta y doctor, su actividad investigadora se centra en el manejo del dolor musculoesquelético desde una perspectiva biopsicosocial, integrando ejercicio terapéutico y la salud digital. Ha desarrollado su trayectoria en el ámbito clínico, docente e investigador, participando en proyectos competitivos internacionales y liderando iniciativas vinculadas a la innovación docente y la transferencia del conocimiento. Es autor de más de 50 publicaciones en revistas indexadas en JCR y ha contribuido al desarrollo de intervenciones basadas en realidad virtual y otras tecnologías aplicadas al dolor. Actualmente, sus intereses se orientan en la incorporación de la salud digital en la evaluación y tratamiento del dolor.

José Ferrer Costa es médico especialista en Medicina Familiar y Comunitaria y en Urgencias, y miembro del equipo de Innovación y Proyectos de Badalona Serveis Assistencials. Es también investigador doctoral en el programa de Doctorado de Salud y Psicología de la Universitat Oberta de Catalunya. Su trabajo se centra en la aplicación de la realidad virtual y otras tecnologías inmersivas en salud, especialmente en ámbitos como el dolor, la rehabilitación, la salud mental y la formación sanitaria. Ha desarrollado su actividad en la asistencia clínica, la investigación aplicada y la coordinación de proyectos de innovación, destacando por el impulso de programas basados en realidad virtual en entornos asistenciales reales. Actualmente, sus intereses se orientan al diseño, evaluación e implementación de intervenciones inmersivas centradas en el paciente y a la adopción de tecnologías RX en la práctica clínica.



Raúl Ferrer Peña es fisioterapeuta en Atención Primaria del SERMAS y profesor en el CSEU La Salle, adscrito a la UAM. Es también profesor y coordinador de la asignatura de Gestión de Proyectos de Salud Digital del Máster Universitario en Salud Digital de la UEM, entre otros programas de posgrado. Doctor en Investigación del Dolor, ha desarrollado su actividad durante más de 20 años en los ámbitos asistencial, docente, investigador y gestor. Durante los últimos ocho años ha formado parte de la Junta de Gobierno del Colegio Profesional de Fisioterapeutas de la Comunidad de Madrid y ha sido consejero del Consejo General de Colegios de Fisioterapeutas de España. Desde 2019 es miembro del Grupo de Trabajo de Salud

Comunitaria del Ministerio de Sanidad. Es patrono de la Fundación Paincorp para el estudio y tratamiento del dolor. Es coautor de más de 35 publicaciones científicas en revistas internacionales, algunas centradas en inteligencia artificial y mHealth aplicadas al dolor, y participa en iniciativas orientadas a integrar estas tecnologías en los modelos de atención y en el desarrollo de herramientas digitales de apoyo a la toma de decisiones clínicas.

Rafael González Cano es investigador en neurofarmacología del dolor y Profesor Permanente Laboral en la Universidad de Granada. Su trayectoria científica se sitúa en la intersección entre el estudio de los mecanismos biológicos del dolor y el desarrollo de nuevas herramientas basadas en inteligencia artificial, con el objetivo de transformar la forma en que se evalúa y se trata esta experiencia compleja. Doctor en Neurociencia por la Universidad de Granada, completó su formación internacional en instituciones de referencia como la Universidad McGill, la Universidad de Utrecht y el Boston Children's Hospital de la Harvard Medical School, donde trabajó en uno de los laboratorios líderes mundiales en investigación del dolor. Estas experiencias han marcado una carrera orientada tanto a la excelencia científica como a la innovación metodológica. A lo largo de su trayectoria, ha contribuido de forma significativa al conocimiento de los mecanismos del dolor, combinando enfoques clásicos de la farmacología con nuevas metodologías computacionales. Es autor de decenas de publicaciones en revistas internacionales de alto impacto y mantiene una intensa colaboración con grupos de investigación de todo el mundo. En los últimos años, su investigación se ha centrado en el desarrollo de herramientas de inteligencia artificial y visión computacional aplicadas al análisis del comportamiento en modelos animales, una línea que busca mejorar la objetividad y reproducibilidad de la investigación preclínica. Esta apuesta por la transferencia de conocimiento se materializa también en la cofundación de la spin-off MouseData, orientada al desarrollo de tecnologías avanzadas para el análisis automatizado del comportamiento y señales biológicas. Su trabajo se orienta hacia un objetivo claro: avanzar hacia una medicina del dolor más precisa, cuantificable y traslacional, capaz de acelerar el desarrollo de nuevos tratamientos y mejorar la calidad de vida de los pacientes.



Javier Guerra Armas es docente en la Universidad Fernando Pessoa Canarias. Es graduado en Fisioterapia y su trabajo se centra en la innovación tecnológica en el manejo del dolor crónico musculoesquelético. Actualmente es investigador doctoral en la Universidad de Málaga y la Universidad de Maastricht en Países Bajos. Ha desarrollado su actividad en la asistencia clínica, deporte de élite,

investigación y docencia universitaria, destacando por la investigación en el uso de realidad virtual en el manejo del dolor crónico. Actualmente, sus intereses se orientan al afrontamiento activo y la atención centrada en la persona con dolor crónico, y la transferencia de la investigación hacia la práctica clínica.

José Javier López Marcos es fisioterapeuta, Doctor en Fisioterapia y Profesor Ayudante Doctor en la Universidad Complutense de Madrid. Cuenta con más de 20 años de experiencia en los ámbitos asistencial, docente e investigador, desarrollando su trayectoria en el campo de la fisioterapia con una orientación destacada hacia la telerrehabilitación, la geriatría y el ejercicio terapéutico. Su actividad investigadora se sitúa en la intersección entre la fisioterapia digital, el dolor y el abordaje biopsicosocial, con especial interés en el uso de tecnologías emergentes como la realidad virtual aplicadas a la rehabilitación, la implementación de wearables en la monitorización de pacientes y el manejo del dolor en personas mayores. Ha participado en proyectos de innovación docente y en iniciativas orientadas a la integración de competencias digitales en la formación universitaria en Ciencias de la Salud. En el ámbito académico, desarrolla su labor docente en el Grado en Fisioterapia, contribuyendo a la formación en bases científicas y pensamiento crítico, así como al desarrollo de metodologías activas de aprendizaje. Su enfoque combina el rigor metodológico, con especial atención a la investigación cualitativa, y la transferencia del conocimiento hacia la práctica clínica.



Marta Matamala-Gómez es investigadora postdoctoral Marie Curie en el Departamento de Medicina de la Universidad de Barcelona, en el laboratorio Pain and Emotion Neuroscience Laboratory. Docente colaboradora en el grado de psicología de la Universidad Oberta de Catalunya y docente agregada en EUSES Escola Universitaria de la Salut i l'Esport. Su investigación se basa en la aplicación de técnicas de aprendizaje sensorial mediante el uso de tecnología multimodal como la realidad virtual inmersiva o de sonificación de movimientos, aplicadas a patologías motoras, de dolor crónico y de distorsión corporal. Sus intereses se orientan al afrontamiento activo y la atención centrada en la persona con dolor crónico, y la transferencia de la investigación hacia la práctica clínica. Ha destacado por varias publicaciones innovadoras en el campo de la rehabilitación y la neurociencia cognitiva, además de publicaciones de capítulos de libro y la obtención de becas de prestigio como Maria Zambrano, Beatriu de Pinòs y Marie Curie. Sus intereses se orientan a identificar marcadores neurales en la aplicación de las técnicas de aprendizaje sensorial mediante tecnología multimodal, considerando las diferencias interpersonales dentro de las condiciones clínicas específicas.





José Antonio Moral Muñoz es Profesor Titular de Universidad en el área de Fisioterapia de la Universidad de Cádiz. Es investigador principal del grupo de investigación *Intelligent Social Knowledge Based Systems* (IntellSOK), compuesto por un equipo multidisciplinar del ámbito de la salud y la informática. Su investigación se centra en la salud digital, el análisis de datos en salud y la aplicación de tecnologías emergentes en la práctica clínica, incluyendo actividades de transferencia del conocimiento en colaboración con empresas tecnológicas. Ha dirigido y lidera actualmente diversos ensayos clínicos centrados en el uso de tecnologías digitales, especialmente salud móvil y realidad virtual, en poblaciones con dolor crónico. Ha sido incluido en las tres últimas ediciones (2023-2025) del ranking internacional *Top 2% Scientists* elaborado a partir de datos de la Universidad de Stanford, que identifica a los investigadores más influyentes a nivel mundial.

Marta Moreno Ligero es docente en la Universidad de Cádiz.

Es graduada en Fisioterapia y Doctora en Ciencias de la Salud, y su trayectoria investigadora se centra en dolor crónico, ejercicio físico y el uso de la tecnología *mHealth*. Ha desarrollado su actividad clínica en el ámbito de la neurología y pediatría, y su actividad investigadora y predoctoral en la Universidad de Cádiz, destacando por su investigación en el abordaje del dolor crónico lumbar mediante ejercicio físico y el apoyo de la tecnología móvil.

Actualmente, sus intereses se orientan en el papel del abordaje multimodal y, concretamente, del ejercicio físico para personas con distintas condiciones de dolor crónico, y su transferencia al contexto clínico.



Eva Tordera Nuño es doctoranda en el Departamento de Arte y Medios de la Universidad de Aalto (Finlandia). Es graduada en fotografía y Máster Universitario en Humanidades: Arte, Literatura y Cultura Contemporáneas. Su trabajo se ha centrado en la representación del dolor crónico en el arte contemporáneo. Actualmente, su investigación analiza los regímenes de (in)visibilidad que, a través de tecnologías, instituciones y marcos epistémicos, configuran cómo se reconoce, legitima y gestiona el dolor crónico no cancerígeno. Su enfoque combina estudios visuales, teoría cultural y pensamiento crítico para examinar las tensiones entre la experiencia vivida y la representación. Más que definir qué es el dolor crónico, sus reflexiones buscan abrir vías para comprender mejor estas experiencias y contribuir a generar espacios donde puedan ser reconocidas y compartidas en el ámbito social y cultural.

PRÓLOGO

por María Madariaga Muñoz
Presidente de la SED

VIVIMOS UN TIEMPO MARCADO POR LA INNOVACIÓN TECNOLÓGICA. Su aplicación a la ciencia y, de manera particular, al ámbito de la salud está transformando profundamente la forma en que prevenimos, diagnosticamos, tratamos y acompañamos a las personas.

Esta transformación está impulsada, entre otros factores, por los avances en las tecnologías de la información y la comunicación (TIC), la salud digital, la digitalización, el *big data* y la inteligencia artificial (IA). No se trata solo de incorporar nuevas herramientas, sino de revisar métodos, procesos y modelos tradicionales de atención sanitaria.

La integración de estas tecnologías está replanteando protocolos, mejorando la eficiencia de los sistemas de salud y ampliando las posibilidades de aplicar el conocimiento científico a la mejora de la calidad de vida de las personas.¹

La ciencia del dolor, que integra disciplinas como la medicina, la enfermería, la psicología, la fisioterapia y la terapia ocupacional, no es ajena a esta transformación. También en este ámbito estamos asistiendo a cambios relevantes impulsados por el desarrollo tecnológico y por nuevas formas de comprender, evaluar y tratar el dolor.

La Sociedad Española del Dolor (SED), como capítulo español de la International Association for the Study of Pain (IASP), impulsa el abordaje del dolor desde una perspectiva biopsicosocial. Esta perspectiva integra las dimensiones biológica, psicológica y social de la persona que vive con dolor crónico, de acuerdo con los principios promovidos por la IASP.²

En este contexto, la salud digital se posiciona como una herramienta clave para el desarrollo de un abordaje biopsicosocial del dolor. Su potencial reside en facilitar procesos terapéuticos más personalizados, en los que cada persona pueda ser mejor evaluada, tratada, monitorizada y acompañada mediante diferentes herramientas digitales, incluida la educación en neurociencia del dolor.

Como podrá comprobar el lector en las páginas de este libro, estas herramientas apuntan hacia un cambio de modelo: de un enfoque predominantemente reactivo a otro más proactivo, centrado en la persona con dolor y orientado a favorecer su reintegración familiar y social, así como una rehabilitación integral.

El libro aborda, en primer lugar, el papel de las terapias digitales, entendidas como intervenciones basadas en programas informáticos clínicamente evaluados, dirigidas a prevenir, tratar o mejorar diferentes condiciones de salud. En el ámbito del dolor crónico, estas terapias pueden contribuir al empoderamiento de los pacientes y de sus cuidadores, así como facilitar la toma de decisiones de los profesionales sanitarios.

Estos programas pueden integrarse en distintos tipos de dispositivos e incorporar tecnologías avanzadas, bien como intervenciones completas e independientes, bien como parte de estrategias más amplias de manejo del dolor.¹

El lector encontrará también en estas páginas los fundamentos de diferentes tecnologías aplicadas a la monitorización digital, la telemedicina y la telerrehabilitación en el tratamiento del dolor.

Estas herramientas representan una oportunidad relevante para mejorar la gestión del dolor, sus terapias y su seguimiento. Permiten individualizar procesos, reforzar la continuidad asistencial y mejorar la comunicación a largo plazo entre profesional y paciente, un aspecto especialmente importante en el abordaje de la cronicidad.

La realidad extendida (RX), que incluye la realidad virtual (RV), la realidad aumentada (RA) y la realidad mixta (RM), constituye otra de las líneas de mayor interés en el tratamiento del dolor. La evidencia que respalda su utilización es cada vez más amplia, especialmente en relación con su potencial para modular la experiencia dolorosa, favorecer la adherencia terapéutica y facilitar intervenciones más inmersivas y significativas para el paciente.

En este libro se revisan sus bases neurocientíficas de la mano de investigadores y clínicos que trabajan actualmente con rigor en el ámbito del dolor crónico. Asimismo, se presentan ejemplos reales de aplicación de estas tecnologías en la práctica clínica en nuestro país.

La inteligencia artificial (IA) en el ámbito del dolor es otro de los temas de plena actualidad que se abordan en esta obra. A lo largo del libro se revisan sus aplicaciones específicas en la evaluación, el diagnóstico y el tratamiento del dolor, así como la evidencia disponible, los retos éticos y las cuestiones regulatorias que plantea su incorporación a la práctica clínica e investigadora.



Por último, el libro ofrece una reflexión necesaria sobre el modo en que las tecnologías digitales están contribuyendo a un cambio de paradigma en el abordaje del dolor: un modelo más proactivo, más personalizado y centrado en la persona que lo sufre.

Los autores plantean, además, preguntas clave para el presente y el futuro: hacia dónde se dirige el abordaje del dolor en la era digital y qué condiciones deben cumplirse para que estas tecnologías tengan un papel científico, clínico y socialmente relevante ante la complejidad y la carga que representa el dolor crónico en nuestra sociedad.

No debemos olvidar que, según datos recientes de prevalencia, se estima que el 26,5 % de la población española declara sufrir dolor crónico, con una edad media de 51,5 años. Esto supone un impacto considerable no solo en términos sanitarios y sociales, sino también en plena edad laboral.³

No quiero terminar este prólogo sin expresar mi agradecimiento al grupo de autores: psicólogos, médicos, fisioterapeutas, docentes e investigadores comprometidos con mejorar la calidad de vida de las personas con dolor y con contribuir científicamente al avance en su comprensión y tratamiento. Este libro es una buena muestra de ese compromiso.

A través de estas páginas, los autores ofrecen al lector una visión actualizada de las tecnologías digitales aplicadas al dolor, con el propósito de favorecer su uso responsable, fundamentado y orientado a mejorar la atención de las personas con dolor crónico.

Quiero también expresar, en nombre de los socios de la SED, nuestro agradecimiento por la generosidad que muestran al difundir su trabajo, por su constante afán de mejora individual y colectiva, y por el compañerismo y ambiente de trabajo que caracterizan al grupo de Tecnología Digital y Dolor de la Sociedad Española del Dolor, del que nos sentimos particularmente orgullosos.

Enhorabuena a todos.

María Madariaga Muñoz
Presidente de la SED

1 C. Sánchez Gómez-Casuso y N. Mariátegui Orbegozo. *Estado actual, retos y recomendaciones para la adopción de las terapias digitales en España*. Consorcio DTx. Barcelona, 2024.

2 <https://www.iasp-pain.org/membership/iasp-chapters/>

3 Dueñas, M., De Sola, H., Salazar, A., Esquivia, A., Rubio, S., & Failde, I. (2025). Prevalence and epidemiological characteristics of chronic pain in the Spanish population. Results from the pain barometer. *European Journal of Pain*, 29, e4705.

DECLARACIÓN DE USO DE INTELIGENCIA ARTIFICIAL Y HERRAMIENTAS DIGITALES

Durante el proceso de elaboración de esta obra se han utilizado herramientas de inteligencia artificial y generación asistida de contenidos exclusivamente como apoyo técnico en tareas de redacción, estructuración y elaboración de material gráfico, siempre bajo supervisión directa del autor.

En particular, se ha empleado ChatGPT (modelo GPT-5, desarrollado por OpenAI) como herramienta de asistencia en redacción académica. Su utilización se ha limitado a funciones de apoyo, entre ellas:

- Estructuración del capítulo: propuesta inicial de índice y organización temática.
- Redacción preliminar de borradores: generación de versiones iniciales de texto académico a partir de indicaciones conceptuales del autor.
- Apoyo en la localización de literatura científica: sugerencia orientativa de posibles referencias relevantes.
- Revisión estilística: mejora de claridad expositiva, cohesión textual y adecuación del tono académico.

Asimismo, algunas ilustraciones didácticas incluidas en esta obra han sido generadas mediante herramientas de creación visual asistida por inteligencia artificial, entre ellas Freepik y Napkin AI, a partir de descripciones conceptuales elaboradas por los autores. Todas las imágenes han sido posteriormente revisadas, editadas y validadas manualmente para asegurar su coherencia con el contenido científico presentado.

Las herramientas de inteligencia artificial no han sido utilizadas para generar resultados científicos originales, datos, análisis estadísticos ni conclusiones clínicas.

La responsabilidad final sobre la exactitud científica, interpretación de la evidencia, selección de referencias bibliográficas, elaboración de argumentos y revisión crítica del contenido corresponde exclusivamente a los autores (humanos).

El uso de inteligencia artificial se ha realizado siguiendo principios de transparencia, supervisión humana y buenas prácticas editoriales, en consonancia con las recomendaciones de la World Association of Medical Editors y con el marco CONSORT-AI para la comunicación responsable del uso de inteligencia artificial en investigación y publicaciones biomédicas.

Introducción • 16

Definición y contextualización de la salud digital • 17

Definición de salud digital • 17

Perspectiva global y vínculo con *One health* • 18

Clasificación funcional de las tecnologías digitales en salud • 19

Tecnologías para la valoración • 19

Tecnologías para el tratamiento • 20

Tecnologías para el seguimiento • 20

Beneficios y limitaciones de la salud digital • 21

Beneficios • 21

Accesibilidad y equidad en la atención • 21

Empoderamiento y alfabetización en salud • 22

Personalización y medicina de precisión • 22

Optimización de recursos sanitarios • 22

Limitaciones y retos • 23

Brecha digital y desigualdades de acceso • 23

Aspectos éticos, legales y de privacidad • 23

Evidencia científica y efectividad real • 24

Resistencia organizativa y cultural • 24

Innovación e ideación en salud digital • 24

Procesos de innovación en salud digital • 24

Tendencias emergentes en innovación digital • 25

Desarrollo de proyectos y casos de éxito • 26

El futuro de la salud digital en dolor • 27

¿Qué está por venir? • 27

Inteligencia artificial para personalización del tratamiento • 27

Realidad extendida • 27

Biomarcadores digitales y salud conectada • 27

Expansión de las terapias digitales • 27

Integración en sistemas sanitarios • 28

Del piloto a la práctica clínica • 28

Modelos híbridos presenciales-digitales • 28

Financiación, reembolso y sostenibilidad • 28

Nuevos perfiles y competencias • 28

Formación digital de profesionales • 28

Transformación de roles profesionales • 28

Paciente digitalmente empoderado • 29

Visión a 2030 • 29



SALUD DIGITAL

José Antonio Moral Muñoz y Raúl Ferrer Peña

OBJETIVO PRINCIPAL

Analizar de manera integral la "salud digital" y sus aplicaciones en el manejo del dolor, abordando su definición, clasificación, beneficios, limitaciones, procesos de innovación y el potencial de las herramientas digitales para la educación, empoderamiento y tratamiento de las personas con dolor crónico.

OBJETIVOS SECUNDARIOS

- Definir y contextualizar la salud digital, incluyendo su relación con enfoques globales como *one health*, y clasificar las tecnologías según sus propósitos.
- Examinar los beneficios, retos y limitaciones asociados a la implementación de la salud digital en entornos clínicos y de investigación.
- Describir las aplicaciones de la salud digital en el manejo del dolor, desde la información y educación al paciente hasta la prevención, diagnóstico y tratamiento.

INTRODUCCIÓN

La transformación digital constituye uno de los procesos de cambio más profundos y acelerados en el ámbito de la salud en el siglo XXI. El desarrollo de tecnologías digitales aplicadas a la práctica clínica, la gestión sanitaria y la investigación ha generado un nuevo ecosistema conocido como salud digital, que engloba desde la telemedicina y la monitorización remota de pacientes hasta las terapias digitales, la inteligencia artificial y la explotación de grandes volúmenes de datos clínicos (World Health Organization [WHO], 2021; European Commission, 2022). Este fenómeno no se limita a la incorporación de dispositivos o software, sino que implica un cambio cultural y organizativo en los sistemas sanitarios, donde la interacción entre profesionales y pacientes se redefine bajo principios de accesibilidad, personalización y equidad (Meier et al., 2024). A escala global, se estima que el mercado de la salud digital alcanzará los 639,4 mil millones de dólares para 2026, con una tasa de crecimiento anual compuesta del 26,2%, lo que refleja su carácter estratégico para los sistemas sanitarios contemporáneos (Global Market Insights, 2020). Además, la pandemia de COVID-19 aceleró exponencialmente la adopción de herramientas digitales, con un incremento del 154% en consultas de telemedicina durante 2020 en comparación con el año anterior (Koonin et al., 2020), consolidando modelos híbridos que combinan atención presencial y virtual.

En este contexto, el manejo del dolor representa un área de especial interés, especialmente el dolor crónico. El dolor crónico afecta a aproximadamente un 27–30% de la población mundial, con un impacto considerable en la calidad de vida, la funcionalidad y los costes asociados a los sistemas sanitarios (Rice et al., 2016; Goldberg & McGee, 2011). Según el Barómetro del dolor crónico en España 2022, la prevalencia es del 25,9% de la población adulta, lo que representa más de 9 millones de personas (Dueñas et al., 2025). Su carácter multidimensional, en el que interactúan factores biológicos, psicológicos y sociales, convierte al dolor en un desafío clínico que requiere estrategias integrales, sostenibles y centradas en la persona. La salud digital ofrece herramientas prometedoras para responder a esta complejidad: permite mejorar la monitorización continua, facilitar el acceso a programas de educación terapéutica, ofrecer intervenciones remotas de rehabilitación y apoyar la toma de decisiones clínicas mediante algoritmos de predicción y estratificación del riesgo (Zhang et al., 2023; Khan et al., 2024).

Además de los beneficios potenciales, la incorporación de soluciones digitales en el ámbito del dolor plantea preguntas críticas sobre su eficacia, seguridad, equidad y sostenibilidad. Estas cuestiones son centrales en un momento en el que los sistemas de salud deben enfrentar



simultáneamente el aumento de la cronicidad, la escasez de recursos humanos y financieros, y la necesidad de garantizar una atención centrada en el paciente. Por tanto, resulta imprescindible analizar de forma integral qué significa la salud digital, cómo se clasifica, cuáles son sus beneficios y limitaciones, y qué futuro puede tener en el abordaje del dolor crónico.

DEFINICIÓN Y CONTEXTUALIZACIÓN DE LA SALUD DIGITAL

DEFINICIÓN DE SALUD DIGITAL

El término salud digital ha experimentado una notable evolución conceptual en las últimas dos décadas. Inicialmente, se utilizaban expresiones como *eHealth* o *mHealth* para describir el uso de tecnologías de la información y comunicación (TIC) en la atención sanitaria. Posteriormente, el concepto se amplió hasta consolidarse bajo el paraguas de “salud digital” o *digital health*, entendido como un ecosistema integral (Figura 1) que combina tecnologías digitales, prácticas clínicas y modelos organizativos orientados a mejorar la salud individual y poblacional (Shaw et al., 2017; WHO, 2021).

Figura 1. Componentes del ecosistema de salud digital.



Según la Organización Mundial de la Salud (OMS), la salud digital abarca “el conocimiento y la práctica relacionados con el desarrollo y uso de tecnologías digitales para mejorar la salud” (WHO, 2021, p. 7). Esta definición enfatiza no solo las herramientas tecnológicas, sino también los procesos sociales, regulatorios y profesionales que acompañan a su implementación. De manera complementaria, la Comisión Europea la describe como el conjunto de servicios y sistemas que utilizan tecnologías digitales, incluyendo inteligencia artificial, *big data*, dispositivos conectados y aplicaciones móviles, para apoyar la salud y los sistemas sanitarios (European Commission, 2022).

En este sentido, la salud digital puede considerarse un paradigma en transformación, que trasciende la digitalización de procesos para convertirse en un facilitador de nuevos modelos de atención, caracterizados por la centralidad del paciente, la toma de decisiones basada en datos y la colaboración interdisciplinaria.

PERSPECTIVA GLOBAL Y VÍNCULO CON *ONE HEALTH*

La salud digital debe entenderse también desde una dimensión global y ecosistémica. El enfoque *one health*, impulsado por organismos internacionales como la OMS, la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) y la Organización Mundial de Sanidad Animal (WOAH), plantea la necesidad de integrar la salud humana, animal y ambiental para afrontar retos sanitarios contemporáneos como el cambio climático, la resistencia antimicrobiana o las pandemias (Destoumieux-Garzón et al., 2018). Tradicionalmente, este enfoque ha enfatizado la colaboración multisectorial y transdisciplinaria para gestionar estas interacciones complejas. En los últimos años, las tecnologías digitales han ampliado esta capacidad de integración. En este contexto surge el concepto de *one digital health*, que combina los principios de *one health* con las herramientas y capacidades de la salud digital (Benis et al., 2021).

Las tecnologías digitales facilitan la recopilación, análisis e interoperabilidad de datos procedentes de múltiples fuentes. Ejemplos relevantes incluyen las plataformas globales de vigilancia epidemiológica que utilizan inteligencia artificial para detectar brotes infecciosos, los sistemas de monitorización ambiental que integran datos sobre calidad del aire, ruido o exposición a contaminantes y su relación con la salud humana, o las aplicaciones móviles que promueven hábitos sostenibles de movilidad y ejercicio físico, vinculando bienestar personal con salud ambiental.

El sistema AMRNet de Canadá ejemplifica esta integración al combinar datos de salud humana, veterinaria y ambiental para monitorizar la resistencia antimicrobiana mediante algoritmos de análisis automatizado y visualización de datos (Rudnick, 2022). De manera similar, el sistema



SIZE (Sistem Informasi Zoonosis) en Indonesia, desarrollado desde 2016, integra la vigilancia digital de enfermedades zoonóticas como rabia, influenza aviar y leptospirosis mediante aplicaciones móviles que permiten la carga de datos en tiempo real.

Este marco global resulta especialmente relevante en el ámbito del dolor, dado que la cronicidad está estrechamente vinculada con determinantes sociales y ambientales de la salud. La digitalización no solo facilita la atención clínica, sino que permite comprender mejor la interacción entre factores biológicos, psicológicos y sociales que influyen en la experiencia dolorosa, alineándose con el modelo biopsicosocial (Gatchel et al., 2007).

CLASIFICACIÓN FUNCIONAL DE LAS TECNOLOGÍAS DIGITALES EN SALUD

Aunque existen múltiples marcos de clasificación de la salud digital, en el contexto clínico resulta especialmente útil organizar las tecnologías en función de su propósito funcional. De manera práctica, pueden agruparse en tres categorías principales: valoración, tratamiento y seguimiento. Esta clasificación facilita la comprensión de cómo las herramientas digitales se integran en las distintas fases del proceso asistencial del dolor.

Tecnologías para la valoración

La valoración incluye todas aquellas herramientas orientadas a recoger, procesar y analizar información clínica relevante para el diagnóstico y la estratificación del paciente. Entre ellas destacan:



Autoinformes digitales

Cuestionarios electrónicos (apps o plataformas web) que permiten al paciente registrar de forma estructurada la intensidad, localización y características del dolor, así como su impacto funcional y emocional.



Sensores portátiles y wearables

Dispositivos que recogen variables fisiológicas (frecuencia cardíaca, variabilidad de la frecuencia cardíaca, temperatura, etc.) o conductuales (actividad física, patrones de sueño, etc.). Estos datos contribuyen a la identificación de biomarcadores digitales del dolor.



Visión por computadora e inteligencia artificial

Algoritmos capaces de analizar expresiones faciales, postura corporal o movimientos para inferir la presencia e intensidad de dolor, especialmente útiles en pacientes con dificultades de comunicación.



Big data y minería de registros clínicos

Análisis de grandes volúmenes de datos sanitarios para identificar fenotipos de dolor y predecir el riesgo de cronificación en pacientes individuales.

Tecnologías para el tratamiento

El tratamiento engloba aquellas intervenciones digitales que buscan modular directamente la experiencia dolorosa o facilitar procesos de rehabilitación y afrontamiento. Ejemplos relevantes incluyen:



Terapias digitales (*Digital Therapeutics, DTx*, por su termino en inglés, *digital therapeutics*)

Intervenciones basadas en software, validadas clínicamente, que se prescriben para el tratamiento de condiciones de salud específicas. En dolor, suelen incluir programas de terapia cognitivo-conductual, educación terapéutica o ejercicio adaptado.



Realidad extendida

Entornos inmersivos que permiten distraer, modular la percepción sensorial o favorecer terapias de exposición gradual. Se emplean tanto en dolor agudo (por ejemplo, en curas de quemados) como en dolor crónico.



Plataformas digitales para realizar ejercicio terapéutico

Aplicaciones o sistemas conectados que guían y monitorizan programas de movimiento, garantizando adherencia y retroalimentación personalizada.



Neurotecnologías digitales

Sistemas que integran interfaces cerebro-computadora, estimulación no invasiva o *serious games* diseñados para modular circuitos neurológicos implicados en el dolor.

Tecnologías para el seguimiento

El seguimiento se centra en mantener la continuidad asistencial y el control longitudinal del paciente, favoreciendo la detección precoz de recaídas y la adaptación dinámica de los tratamientos. Las principales herramientas son:



Telemedicina

Plataformas de videoconferencia y mensajería segura que permiten consultas remotas, revisión de síntomas y ajuste de tratamientos sin necesidad de desplazamientos.



Aplicaciones de autoseguimiento

Aplicaciones móviles que registran de forma continua la evolución del dolor, la adherencia a la medicación o al ejercicio, y que generan alertas para profesionales en caso de empeoramiento.



Plataformas interoperables de historia clínica electrónica

Integran datos de diferentes fuentes (hospital, atención primaria, dispositivos personales) y permiten una visión longitudinal del paciente.



Chatbots y asistentes virtuales

Sistemas basados en inteligencia artificial que proporcionan acompañamiento, recordatorios y educación continua, reforzando la adherencia terapéutica.

La clasificación funcional en valoración, tratamiento y seguimiento ofrece un marco sencillo y clínicamente relevante para entender la salud digital en el ámbito del dolor. Cada categoría incluye tecnologías diversas, pero todas comparten un mismo principio: facilitar la atención personalizada, continua y centrada en la persona, potenciando la capacidad de los profesionales y de los propios pacientes para gestionar de manera más eficaz la complejidad del dolor crónico.

BENEFICIOS Y LIMITACIONES DE LA SALUD DIGITAL

La salud digital se presenta como un elemento disruptivo capaz de transformar la organización de los sistemas sanitarios y la práctica clínica. Sin embargo, su implementación plantea tanto oportunidades como retos significativos, que deben analizarse para evitar visiones reduccionistas o excesivamente tecnocráticas.

BENEFICIOS

Accesibilidad y equidad en la atención

Uno de los principales beneficios de la salud digital es su capacidad para reducir barreras geográficas y temporales, facilitando la atención en poblaciones rurales, dispersas o con dificultades de movilidad (Bashshur et al., 2016). Las consultas de telemedicina, las plataformas de seguimiento remoto y los programas digitales de rehabilitación permiten extender la cobertura asistencial y mejorar la continuidad del cuidado, lo que resulta

especialmente relevante en personas con dolor crónico, quienes frecuentemente requieren atención prolongada y multidisciplinaria.

Empoderamiento y alfabetización en salud

Las herramientas digitales promueven el rol activo del paciente en la gestión de su salud. A través de aplicaciones móviles, portales web y programas educativos interactivos, los pacientes acceden a información contrastada, desarrollan competencias de autocuidado y participan de manera más activa en la toma de decisiones (Granja et al., 2018). En este sentido, existen tres capacidades fundamentales que las tecnologías de salud digital potencian para el empoderamiento del paciente (Fomo et al., 2025): (1) gestión de información y conocimiento sobre salud, (2) autogestión de la condición crónica, y (3) apoyo emocional y social. Estas capacidades se desarrollan a través de componentes funcionales como educación al paciente, comunicación con el equipo sanitario, monitorización continua, intervenciones de cambio de comportamiento y retroalimentación personalizada. En el caso del dolor crónico, este empoderamiento contribuye a mejorar la adherencia a programas de ejercicio, a implementar estrategias de afrontamiento y a reducir la dependencia de tratamientos exclusivamente farmacológicos.

Personalización y medicina de precisión

La recolección de datos clínicos, fisiológicos y conductuales mediante dispositivos portátiles y plataformas digitales permite generar perfiles individuales de pacientes. Estos datos, analizados con algoritmos de inteligencia artificial, facilitan la estratificación de riesgos, la predicción de evolución clínica y la selección de intervenciones adaptadas a las características personales (Topol, 2019). En dolor, ello se traduce en la posibilidad de identificar subgrupos de pacientes con mayor riesgo de cronificación, optimizar la elección de terapias físicas o psicológicas y ajustar la intensidad del seguimiento.

Optimización de recursos sanitarios

La digitalización de procesos también repercute en la eficiencia de los sistemas sanitarios. La monitorización remota reduce hospitalizaciones innecesarias, los programas digitales de rehabilitación disminuyen costes asociados a desplazamientos y las plataformas de comunicación mejoran la coordinación entre niveles asistenciales (Keesara et al., 2020). Además, la explotación de grandes bases de datos clínicos posibilita evaluar resultados en salud y orientar políticas públicas basadas en evidencia.



LIMITACIONES Y RETOS

Brecha digital y desigualdades de acceso

La expansión de la salud digital está condicionada por la disponibilidad de infraestructuras tecnológicas (acceso a internet, dispositivos móviles) y por la alfabetización digital de la población. En este sentido, aproximadamente el 4,6% de los hogares en España no disponen de acceso a Internet, y en los municipios pequeños esta cifra puede llegar al 10% (Observatorio Nacional de Tecnología y Sociedad, 2022). Además, un 2% de los hogares no tienen acceso a ningún dispositivo electrónico y el 57% de los hogares sin Internet mencionan la falta de conocimientos. Las personas mayores, aquellas con bajo nivel socioeconómico o residentes en zonas con escasa conectividad son especialmente vulnerables a quedar excluidas (Latulippe et al., 2017).

Estas desigualdades se estructuran en cuatro niveles según el Marco para la Equidad en Salud Digital (Public Health Ontario, 2023): individual (acceso a dispositivos y habilidades digitales), interpersonal (apoyo familiar y social), comunitario (infraestructura de conectividad) y social (políticas regulatorias y estándares de diseño). Las barreras a nivel social incluyen la falta de políticas que garanticen acceso asequible a banda ancha, la ausencia de estándares de diseño inclusivos para personas con discapacidad o baja alfabetización digital, y la existencia de una "línea roja digital", mediante la cual las empresas tecnológicas evitan inversiones en comunidades de bajos ingresos o minorías.

En el caso del dolor, esta brecha puede incrementar las desigualdades, perpetuando que los pacientes con mayores necesidades tengan menor acceso a recursos innovadores.

Aspectos éticos, legales y de privacidad

El uso masivo de datos clínicos plantea desafíos en torno a la confidencialidad, seguridad y consentimiento informado. A nivel regulatorio, además del Reglamento General de Protección de Datos (RGPD) que protege la privacidad de los datos sanitarios, la propuesta de Reglamento de Inteligencia Artificial (AI Act) de la Comisión Europea (European Commission, 2021) establece un marco para la gobernanza de la inteligencia artificial, clasificando los sistemas en salud como de alto riesgo y exigiendo rigurosos requisitos de seguridad, transparencia y supervisión humana, especialmente en dispositivos médicos y algoritmos de apoyo a la decisión clínica. Además, la opacidad de algunos algoritmos de inteligencia artificial genera preocupaciones sobre sesgos, transparencia y rendición de cuentas en la toma de decisiones clínicas (Jobin et al., 2019).

Evidencia científica y efectividad real

Aunque el número de aplicaciones y dispositivos de salud digital crece exponencialmente, no todos cuentan con estudios rigurosos que avalen su eficacia y seguridad. La heterogeneidad en los diseños de investigación, la escasa estandarización de resultados y la falta de replicación dificultan la incorporación de estas herramientas en guías clínicas (Gerke et al., 2020). En el ámbito del dolor, se observa una proliferación de aplicaciones de autocuidado sin respaldo científico sólido, lo que puede generar expectativas poco realistas o incluso riesgos de uso inadecuado.

Resistencia organizativa y cultural

La implementación de soluciones digitales requiere cambios en los flujos de trabajo clínicos, en la capacitación de profesionales y en la cultura organizativa. La falta de tiempo, la sobrecarga asistencial y la percepción de que la digitalización aumenta la burocracia son barreras habituales (Greenhalgh et al., 2017). En el dolor crónico, donde la atención es ya compleja y multidisciplinar, la integración de tecnologías sin un diseño centrado en el usuario puede aumentar la fragmentación en lugar de reducirla.

INNOVACIÓN E IDEACIÓN EN SALUD DIGITAL

La innovación constituye un motor esencial para el desarrollo de la salud digital. No se trata únicamente de introducir nuevas tecnologías en los sistemas sanitarios, sino de transformar los procesos asistenciales mediante un diseño centrado en las personas y un enfoque basado en la evidencia. La ideación, fase inicial de los procesos de innovación, resulta especialmente relevante, ya que en ella se generan y priorizan soluciones que deben responder a problemas clínicos y organizativos reales, evitando la creación de herramientas que no se integren en la práctica cotidiana o que no resuelvan necesidades significativas (Brown, 2009; Greenhalgh et al., 2017).

PROCESOS DE INNOVACIÓN EN SALUD DIGITAL

El ciclo de innovación en salud digital puede representarse como un proceso iterativo que incluye varias fases (Figura 2). Este proceso no es lineal, sino que requiere retroalimentación constante, iteración y flexibilidad para adaptarse a los cambios regulatorios, tecnológicos y sociales.



Figura 2. Ciclo iterativo de innovación en salud digital.



Escalado y sostenibilidad

Expansión a diferentes contextos y sistemas, garantizando la interoperabilidad tecnológica y la viabilidad económica.
Adaptación a cambios regulatorios, tecnológicos y sociales.

TENDENCIAS EMERGENTES EN INNOVACIÓN DIGITAL

Diversas tendencias están marcando el presente y futuro de la salud digital, con especial relevancia en el ámbito del dolor, destacando: (1) La telemedicina híbrida, ya que la pandemia de la COVID-19 aceleró la adopción de consultas virtuales, que ahora se combinan con visitas presenciales en modelos híbridos más sostenibles (Keesara et al., 2020). En dolor, este enfoque permite un seguimiento continuo sin aumentar la carga asistencial. (2) Las terapias digitales, que son intervenciones

digitales validadas clínicamente y reguladas como productos sanitarios. Alemania ha liderado esta tendencia con el programa DiGA, que permite la prescripción de aplicaciones digitales para condiciones crónicas, incluyendo dolor musculoesquelético y rehabilitación (Gerke et al., 2020). (3) La IA aplicada al dolor mediante algoritmos de *machine learning*, que se emplean para predecir la cronificación, identificar fenotipos de pacientes y personalizar programas de tratamiento (Khan et al., 2024). Asimismo, la visión por computadora se está utilizando para analizar expresiones faciales y posturas corporales como indicadores objetivos de dolor (Zhang et al., 2023). (4) Los entornos inmersivos y el metaverso terapéutico, utilizando la realidad extendida, ofreciendo nuevas posibilidades para la rehabilitación y la modulación de la experiencia dolorosa. Ensayos clínicos han demostrado su utilidad para reducir dolor agudo (por ejemplo, en pacientes con quemaduras) y para facilitar la exposición gradual en contextos de dolor crónico (Matamala-Gomez et al., 2019). (5) Los biomarcadores digitales y salud conectada mediante el uso de *wearables* y sensores portátiles que permiten registrar de forma continua variables como actividad física, sueño, frecuencia cardíaca o variabilidad de la frecuencia cardíaca, lo que abre la puerta a la identificación de biomarcadores digitales útiles para monitorizar la evolución del dolor y la respuesta al tratamiento (Insel, 2017).

DESARROLLO DE PROYECTOS Y CASOS DE ÉXITO

El desarrollo exitoso de proyectos de salud digital requiere integrar tres dimensiones clave: validez científica, viabilidad tecnológica y sostenibilidad económica. La experiencia internacional muestra ejemplos valiosos. En Alemania, la aplicación *Kaia Health* para dolor lumbar crónico ha demostrado eficacia en la reducción de dolor y mejora de la función, siendo prescrita como terapia digital dentro del sistema público (Gerke et al., 2020). En Estados Unidos, programas de rehabilitación digital como *Sword Health* o *Hinge Health* han escalado con éxito, integrando fisioterapia digital guiada por algoritmos con supervisión remota de profesionales (Fiani et al., 2021). En España, proyectos piloto como *Pain Monitor* han explorado el uso de aplicaciones móviles para el seguimiento diario de síntomas en pacientes con dolor crónico, mostrando mejoras en adherencia y en comunicación médico-paciente (Suso-Ribera, et al. 2018).

No obstante, muchos proyectos fracasan en su fase de implementación por la falta de integración en sistemas sanitarios, la ausencia de incentivos para profesionales y la dificultad de generar evidencia robusta en contextos clínicos reales (Greenhalgh et al., 2017).



EL FUTURO DE LA SALUD DIGITAL EN DOLOR

La salud digital se encuentra en un momento de transición: ha superado la etapa de proyectos piloto y comienza a consolidarse como un elemento estructural en numerosos sistemas sanitarios. Sin embargo, su evolución futura en el manejo del dolor dependerá de factores como la madurez tecnológica, la validación científica, la integración en modelos de atención y la capacidad de generar equidad y sostenibilidad. Este apartado explora las principales tendencias, retos y oportunidades que marcarán la próxima década.

¿QUÉ ESTÁ POR VENIR?

Inteligencia artificial para personalización del tratamiento

El uso de algoritmos de machine learning permitirá identificar patrones clínicos complejos y estratificar a los pacientes según riesgo de cronicación, respuesta a tratamientos o presencia de comorbilidades. En el ámbito del dolor crónico, donde la heterogeneidad de pacientes es elevada, la inteligencia artificial abre la puerta a una atención verdaderamente personalizada (Khan et al., 2024).

Realidad extendida

Los entornos inmersivos están adquiriendo un papel central en rehabilitación y control del dolor. La realidad virtual se emplea ya en intervenciones analgésicas en dolor agudo y en terapias de exposición gradual en dolor crónico (Matamala-Gomez et al., 2019). A medio plazo, se prevé que la expansión del metaverso permita crear espacios virtuales de rehabilitación y comunidades de apoyo entre pacientes.

Biomarcadores digitales y salud conectada

El auge de *wearables* y sensores permitirá disponer de biomarcadores digitales que cuantifiquen de forma continua variables asociadas al dolor: actividad física, sueño, frecuencia cardíaca, variabilidad de la frecuencia cardíaca, niveles de estrés (Insel, 2017). Estos datos, integrados en plataformas de análisis, facilitarán la detección temprana de exacerbaciones y la monitorización objetiva de la eficacia terapéutica.

Expansión de las terapias digitales

El futuro del dolor pasa también por la consolidación de las terapias digitales, intervenciones basadas en software que cuentan con ensayos clínicos y reconocimiento regulatorio. Alemania (programa DiGA) y Estados Unidos lideran esta tendencia, y se espera que Europa y América

Latina avancen hacia modelos de reembolso que incluyan aplicaciones para dolor crónico, rehabilitación musculoesquelética y terapia cognitivo-conductual digital (Gerke et al., 2020).

INTEGRACIÓN EN SISTEMAS SANITARIOS

Del piloto a la práctica clínica

Un reto fundamental es el escalado de las soluciones digitales. Muchos proyectos exitosos en fases piloto no logran integrarse en los sistemas públicos por falta de interoperabilidad, ausencia de marcos de financiación o resistencia organizativa (Greenhalgh et al., 2017). El futuro dependerá de la capacidad de diseñar rutas claras para que las innovaciones pasen de la investigación a la práctica clínica.

Modelos híbridos presenciales-digitales

El modelo predominante tenderá a ser híbrido, combinando la atención presencial con intervenciones digitales. En dolor crónico, esta hibridación puede optimizar recursos: consultas iniciales presenciales para diagnóstico y establecimiento de confianza, seguidas de monitorización y rehabilitación digital con revisiones periódicas.

Financiación, reembolso y sostenibilidad

La sostenibilidad de las intervenciones digitales requerirá esquemas de financiación claros. Iniciativas como el DiGA alemán muestran que la inclusión de DTx en los catálogos de prestaciones puede facilitar su adopción. En España, la futura integración dependerá de los marcos europeos de interoperabilidad (EHDS) y de la disposición de las comunidades autónomas a financiar este tipo de terapias.

NUEVOS PERFILES Y COMPETENCIAS

Formación digital de profesionales

El futuro de la salud digital exige que los profesionales desarrollen competencias digitales avanzadas. Son de especial interés el manejo de plataformas de telemedicina, la interpretación de biomarcadores digitales, el uso de inteligencia artificial en apoyo a la toma de decisiones y en habilidades comunicativas en entornos virtuales (Topol, 2019). Esta transformación exige una adaptación curricular en la formación de los profesionales de la salud, integrando competencias digitales avanzadas desde los grados y posgrados, tal como propone la iniciativa europea DigCompHealth (European Commission Joint Research Center, 2022).

Transformación de roles profesionales

La incorporación de tecnologías digitales no sustituye al profesional,



sino que redefine su rol. En dolor, los profesionales sanitarios pasarán a ser gestores de la experiencia digital del paciente, integrando datos, orientando en el uso de aplicaciones y adaptando los programas a las necesidades individuales.

Paciente digitalmente empoderado

El paciente del futuro no será un receptor pasivo, sino un actor activo en su autocuidado. La salud digital permitirá un acceso directo a datos, recomendaciones y programas de autogestión, reforzando su autonomía y favoreciendo la corresponsabilidad en los resultados de salud (Granja et al., 2018).

VISIÓN A 2030

Hacia 2030, el manejo del dolor se proyecta en un ecosistema donde la salud digital es transversal y no un añadido. Las características más relevantes de esta visión se destacan en la Figura 3.



Figura 3. Características clave de la visión de la salud digital en dolor hacia 2030.

El futuro de la salud digital en dolor no se limita a incorporar más tecnología, sino a transformar la relación entre personas, sistemas y datos. La clave estará en lograr que estas herramientas amplíen la capacidad humana de cuidar, en lugar de sustituirla, y que lo hagan de manera equitativa y sostenible.

De forma transversal, la salud digital ofrece un marco de actuación que abarca todas las fases del manejo del dolor. En primer lugar, facilita la información y educación del paciente a través de aplicaciones móviles, *chatbots* y programas digitales de alfabetización en salud, que promueven un rol más activo en la autogestión. En segundo lugar, impulsa la prevención, gracias al uso de *wearables* y algoritmos de predicción que permiten anticipar riesgos de cronificación y diseñar estrategias proactivas. En tercer lugar, potencia el diagnóstico, mediante autoinformes digitales, sistemas de inteligencia artificial y técnicas de visión por computadora que amplían la capacidad de evaluación clínica. Finalmente, contribuye al tratamiento, con el desarrollo de terapias digitales validadas, programas de ejercicio terapéutico digital y entornos inmersivos de realidad virtual o aumentada. Esta secuencia, información, prevención, diagnóstico y tratamiento, refleja la versatilidad de la salud digital y su potencial para articular un abordaje integral, personalizado y continuo del dolor crónico. •

Definición y principios de las terapias digitales • 34

Definición de terapia digital • 34

Principios básicos • 34

Formas y ejemplos • 36

Diferencias con aplicaciones de bienestar • 36

Regulación • 37

Regulación europea y española • 38

Clasificación por riesgo • 38

Ciclo de certificación de una DTx (marcado CE) • 39

Cumplimiento del RGPD y seguridad de la información • 40

Panorama regulatorio internacional • 40

Retos y desafíos regulatorios • 41

Investigación clínica con terapias digitales • 41

Marcos metodológicos y guías de referencia • 42

Enfoques pragmáticos para estudios en práctica real • 42

Barreras y desafíos en la implementación clínica • 43

Gestión ética de datos y consentimiento informado digital • 44

Tecnologías disponibles • 45

Protocolos y guías de uso • 49

Casos de éxito • 50

Recurso clave para investigadores: La Red EQUATOR • 52

Recurso oficial para autorización de investigaciones clínicas • 52



TERAPIAS DIGITALES

José Ferrer Costa y Raúl Ferrer Peña

OBJETIVO PRINCIPAL

Analizar el papel actual y futuro de las terapias digitales (*Digital Therapeutics*, DTx, por su término en inglés, digital therapeutics) en el manejo del dolor, desde una perspectiva clínica, regulatoria y metodológica, destacando su potencial como herramientas terapéuticas basadas en la evidencia.

OBJETIVOS SECUNDARIOS

- Definir el concepto de DTx y diferenciarlo de otras intervenciones digitales no reguladas.
- Revisar las principales aplicaciones clínicas de DTx en personas con dolor agudo y crónico.
- Presentar los marcos regulatorios y metodológicos específicos para el diseño, evaluación e implementación de DTx.
- Identificar barreras, oportunidades y desafíos en su integración en la práctica asistencial.
- Ofrecer ejemplos de tecnologías disponibles y casos de éxito en el ámbito clínico.

DEFINICIÓN Y PRINCIPIOS DE LAS TERAPIAS DIGITALES

DEFINICIÓN DE TERAPIA DIGITAL

En España y en la Unión Europea, las terapias digitales (*Digital Therapeutics*, DTx, por su término en inglés, *digital therapeutics*) se consideran software con finalidad médica y, por tanto, se clasifican como productos sanitarios, de acuerdo con el Reglamento (UE) 2017/745 y el Real Decreto 192/2023, regulados por la Agencia Española de Medicamentos y Productos Sanitarios (AEMPS, 2023).

En el ámbito científico internacional, la definición más ampliamente citada procede de la Digital Therapeutics Alliance, que describe las DTx como “intervenciones terapéuticas basadas en la evidencia, impulsadas por software de alta calidad, destinadas a prevenir, manejar o tratar enfermedades y trastornos, utilizadas solas o en combinación con medicamentos, dispositivos u otras terapias” (Digital Therapeutics Alliance, 2019).

A nivel global, el International Medical Device Regulators Forum ha establecido definiciones y guías para el Software as a Medical Device (SaMD), que constituyen la base regulatoria de estas DTx en múltiples jurisdicciones, incluyendo la Unión Europea, Estados Unidos, Japón y Canadá (IMDRF, 2013, 2017).

PRINCIPIOS BÁSICOS

Las DTx se diferencian de otras aplicaciones de salud digital porque cumplen tres principios esenciales. En primer lugar, deben constituir intervenciones basadas en la evidencia. Esto implica que una DTx debe demostrar su eficacia y seguridad mediante estudios clínicos controlados o pragmáticos, utilizando metodologías equiparables a las empleadas en la evaluación de fármacos o dispositivos médicos (Murray et al., 2016). Además, guías metodológicas internacionales como CONSORT-EHEALTH y SPIRIT-AI recomiendan describir de forma transparente los componentes de la intervención, la metodología empleada y los resultados clínicos evaluados, con el objetivo de mejorar la calidad y reproducibilidad de los estudios en salud digital (Eysenbach, 2011; Chan et al., 2021).

En segundo lugar, las DTx están sujetas a regulación sanitaria como producto sanitario software. En Europa, estas intervenciones requieren el marcado CE como producto sanitario conforme al Reglamento (UE) 2017/745, así como su adaptación al marco nacional, como el Real Decreto 192/2023 en España, bajo la supervisión de la Agencia Española de Medicamentos y Productos Sanitarios (AEMPS, 2023). En Estados Unidos,



la Food and Drug Administration (FDA) regula estas tecnologías dentro de la categoría *Software as a Medical Device* (SaMD), estableciendo diferentes vías regulatorias que garantizan estándares de seguridad, eficacia y calidad (FDA, 2023).

En tercer lugar, las DTx requieren validación clínica continua y seguimiento post-comercialización. Su implementación no finaliza con la aprobación regulatoria, sino que deben demostrar su efectividad y seguridad en condiciones de práctica clínica real. Esto implica la utilización de datos del mundo real y sistemas de vigilancia activa, como los promovidos por los programas de Real-World Evidence (RWE) de la FDA (FDA, 2022).

En este contexto, modelos como RE-AIM y herramientas como PRE-CIS-2 permiten evaluar la traslación de la evidencia a la práctica clínica, así como la validez externa y aplicabilidad de las intervenciones digitales en entornos reales (Glasgow et al., 1999; Loudon et al., 2015).

Figura 1. Los tres pilares de una terapia digital.



Formas y ejemplos

Estas intervenciones pueden adoptar múltiples formas, incluyendo aplicaciones móviles, programas de ordenador, entornos de realidad virtual o dispositivos con software embebido. No obstante, su valor no reside en el formato tecnológico en sí mismo, sino en la capacidad de generar un beneficio clínico demostrable, medible y sostenido. En el ámbito del dolor ya existen ejemplos validados. RelieVRx, un programa de realidad virtual autorizado por la FDA, ha mostrado eficacia en personas con dolor lumbar crónico como complemento a los tratamientos convencionales (Rohaj & Bulaj, 2023).

Diferencias con aplicaciones de bienestar





Una aplicación de relajación general sin indicación médica no sería considerada una terapia digital. Sin embargo, si esa misma aplicación forma parte de un protocolo estructurado para la reducción de ansiedad clínica en personas con dolor, y ha demostrado eficacia en un ensayo clínico, entonces sí podría clasificarse como DTx. La distinción clave está en el propósito terapéutico, el rigor metodológico y el cumplimiento de estándares clínicos.

Esta diferencia resulta aún más clara al comparar las DTx con las denominadas *wellness apps* o aplicaciones de bienestar. Estas, aunque útiles para promover hábitos saludables como la meditación, el ejercicio físico o el control del sueño, carecen de un propósito terapéutico explícito, no cuentan con validación clínica y no están sujetas a regulación como producto sanitario. En cambio, las DTx declaran un objetivo clínico definido, demuestran su eficacia en estudios controlados y se integran en la práctica asistencial bajo marcos regulatorios específicos. En este sentido, la International Association for the Study of Pain (IASP) ha subrayado esta distinción y ha documentado diversos ejemplos de terapias digitales aplicadas al dolor, desde entornos de realidad virtual para procedimientos agudos hasta programas digitales para dolor crónico (Hohenschurz-Schmidt et al., 2023).

En algunos casos, se han utilizado entornos inmersivos para reducir el dolor agudo durante curas de quemaduras o procedimientos invasivos, con resultados positivos documentados en ensayos clínicos (Hoffman et al., 2011).



Tabla 1. Diferencias entre aplicaciones de bienestar y terapias digitales.

	APLICACIONES DE BIENESTAR	TERAPIAS DIGITALES
 FINALIDAD	Bienestar general (relajación, fitness, sueño, alimentación)	Objetivo médico definido: prevención, tratamiento o manejo de una enfermedad o trastorno
 EVIDENCIA CIENTÍFICA	Generalmente sin validación clínica; basadas en autoayuda o recomendaciones generales	Respaldadas por estudios clínicos (ensayos controlados aleatorizados, estudios pragmáticos y evidencia en vida real)
 REGULACIÓN	No reguladas como producto sanitario	Reguladas por: Software as a Medical Device (SaMD): marcado CE bajo Reglamento (UE) 2017/745 y Real Decreto 192/2023 en España; autorizaciones FDA en EE. UU.; proceso DiGA en Alemania
 INTEGRACIÓN CLÍNICA	Uso autónomo por la persona usuaria, sin supervisión sanitaria	Prescripción e integración en práctica clínica, con supervisión y seguimiento por profesionales de la salud

REGULACIÓN

En el marco jurídico actual, las DTx se consideran productos sanitarios basados en software. Su regulación se apoya en el concepto de *Software as a Medical Device* (SaMD), definido por el International Medical Device Regulators Forum (IMDRF), organismo que colabora con las principales agencias internacionales para armonizar requisitos, promover la transparencia y facilitar el reconocimiento mutuo de certificaciones.

El IMDRF define un SaMD como un software con uno o más propósitos médicos que cumple esos fines sin formar parte de un dispositivo físico (IMDRF, 2013, 2017). En la práctica, esto significa que se regula el software terapéutico con finalidad médica y no el dispositivo donde se

utiliza. De este modo, una aplicación ejecutada en un teléfono, una tableta o unas gafas de realidad virtual puede considerarse una DTx si cumple los requisitos clínicos y regulatorios correspondientes. Solo cuando el hardware constituye una parte inseparable de la función terapéutica, como en algunos sistemas de neurorehabilitación o de biofeedback, el conjunto completo se evalúa como un único producto sanitario.

Asimismo, el IMDRF ha establecido guías que armonizan los criterios de seguridad y desempeño entre distintas regiones, incluidas la Unión Europea, Estados Unidos, Japón y Canadá, con el objetivo de reforzar la coherencia y la transparencia internacional.

REGULACIÓN EUROPEA Y ESPAÑOLA

En la Unión Europea, las DTx están reguladas por el Reglamento (UE) 2017/745 sobre productos sanitarios, también conocido como MDR (European Commission, 2017). En España, este marco se complementa con el Real Decreto 192/2023 y con la Ley de garantías y uso racional de los medicamentos y productos sanitarios (AEMPS, 2023).

La autoridad competente es la Agencia Española de Medicamentos y Productos Sanitarios (AEMPS), encargada de supervisar el proceso de certificación, control y vigilancia de estos productos. Este marco regulatorio implica que toda DTx debe demostrar seguridad, calidad y rendimiento clínico equivalentes a los de cualquier otro producto sanitario.

CLASIFICACIÓN POR RIESGO

La Unión Europea clasifica los productos según el riesgo derivado de su uso:

Clase I (bajo riesgo): aplicaciones de apoyo general sin efecto clínico directo.

Clase IIa (riesgo moderado): software que apoya la toma de decisiones o monitoriza parámetros no críticos. En el ámbito del dolor, un ejemplo son las plataformas de telerrehabilitación como TRAK Rehabilitación.

Clase IIb (riesgo moderado-alto): terapias digitales que influyen de forma relevante en decisiones médicas o estructuran tratamientos, como RelieVRx, basada en realidad virtual para el manejo del dolor crónico. La mayoría de las DTx en este ámbito pertenecen a las clases IIa o IIb.

Clase III (alto riesgo): reservada a software que controla funciones vitales o dispositivos implantables, poco frecuente en este contexto.



CICLO DE CERTIFICACIÓN DE UNA DTX (MARCADO CE)

Antes de su uso clínico en Europa, toda DTX debe superar un proceso de evaluación y certificación que garantice su fiabilidad y eficacia, culminando con la obtención del marcado CE. Este proceso se puede resumir en las siguientes fases: **(1)** Definir la finalidad médica. Especificar la indicación clínica, la población diana y el objetivo terapéutico del software. **(2)** Clasificar el riesgo. Determinar la categoría (I, IIa, IIb o III) según el impacto clínico previsto. **(3)** Aplicar normas de calidad. Desarrollar el software bajo sistemas certificados como ISO 13485 (gestión de calidad) y ISO 14971 (gestión de riesgos). **(4)** Generar evidencia clínica. Demostrar eficacia y seguridad mediante estudios clínicos, desde ensayos controlados aleatorizados hasta diseños pragmáticos en práctica real. **(5)** Obtener el marcado CE. Tras la evaluación favorable de un organismo notificado, el software queda autorizado para su uso médico en toda la Unión Europea. **(6)** Garantizar la vigilancia post-comercialización. Monitorizar el rendimiento y la seguridad del software, notificando las actualizaciones que puedan modificar su función clínica o su perfil de riesgo (European Commission, 2017).

Figura 2. Ciclo de certificación de una DTX (marcado CE).



CUMPLIMIENTO DEL RGPD Y SEGURIDAD DE LA INFORMACIÓN

La certificación de una terapia digital exige demostrar no solo su seguridad clínica y eficacia, sino también el cumplimiento de los estándares de protección de datos establecidos por el Reglamento General de Protección de Datos (RGPD) y la legislación española aplicable.

Toda DTx debe garantizar la confidencialidad, la integridad y la trazabilidad de la información de salud que gestiona, así como disponer de medidas técnicas y organizativas que aseguren su uso seguro en entornos asistenciales.

Los aspectos específicos sobre privacidad, consentimiento digital y evaluación de impacto se desarrollan en la sección dedicada a la investigación clínica.

PANORAMA REGULATORIO INTERNACIONAL

Aunque el MDR constituye la referencia europea, existen otros modelos regulatorios consolidados. En Estados Unidos, la Food and Drug Administration regula las terapias digitales como Software as a Medical Device (SaMD), estableciendo diferentes vías regulatorias como 510(k), De Novo o PMA. Además, la base de datos Devices@FDA permite consultar las autorizaciones de estos productos (Food and Drug Administration, 2023). En Alemania, el modelo DiGA representa uno de los sistemas más avanzados de integración de terapias digitales en el sistema sanitario. El directorio oficial del Bundesinstitut für Arzneimittel und Medizinprodukte permite consultar las aplicaciones digitales aprobadas para prescripción y reembolso dentro del sistema de salud alemán (BfArM, 2025). En el Reino Unido, la Medicines and Healthcare products Regulatory Agency dispone del registro público PARD (Public Access Registration Database), que permite verificar dispositivos médicos digitales con certificación UKCA o con marcado CE reconocido (MHRA, 2025). En Canadá, Health Canada mantiene el listado MDALL (Medical Devices Active Licence Listing), que recoge las licencias activas de productos sanitarios de Clase II a IV (Health Canada, 2025).

Finalmente, en el contexto europeo, la Comisión Europea está desplegando la base de datos EUDAMED, que actuará como sistema centralizado para comprobar la certificación CE y la información regulatoria de dispositivos médicos en toda la Unión Europea (European Commission, 2025).



RETOS Y DESAFÍOS REGULATORIOS

A pesar de los avances normativos, la regulación de las terapias digitales (DTx) sigue enfrentando diversos retos que condicionan su desarrollo y adopción. En primer lugar, la interpretación y aplicación del marco legal presenta dificultades, ya que los límites entre aplicaciones de bienestar y productos sanitarios no siempre están claramente definidos, lo que genera incertidumbre tanto en desarrolladores como en centros asistenciales. Además, el ritmo de innovación del software es mucho más rápido que el de los procesos de certificación, lo que obliga a encontrar un equilibrio entre la incorporación de avances tecnológicos y la garantía de seguridad y eficacia. A esto se suma la complejidad en la evaluación de versiones y actualizaciones, dado que la normativa aún busca mecanismos ágiles que permitan valorar cambios menores sin necesidad de repetir todo el proceso de certificación. Por otro lado, la falta de un marco claro de financiación y reembolso limita la adopción de estas intervenciones en los sistemas públicos de salud, siendo Alemania una de las pocas excepciones gracias al modelo DiGA. Finalmente, la formación insuficiente y la escasa cultura regulatoria entre los profesionales sanitarios favorecen el uso de herramientas digitales no certificadas, lo que puede comprometer la calidad asistencial.

En conjunto, estos desafíos confirman que la regulación no debe entenderse como un obstáculo, sino como un marco de garantías en evolución. Alcanzar un equilibrio entre rigor y accesibilidad resultará esencial para la integración sostenible de estas tecnologías.

No obstante, una vez superada la barrera regulatoria, emerge un desafío asistencial y científico distinto: validar si estas herramientas, que muestran resultados prometedores en entornos controlados, mantienen su efectividad en la compleja realidad clínica. Para ello, es necesario adaptar los modelos de investigación tradicionales a la naturaleza dinámica del software.

INVESTIGACIÓN CLÍNICA CON TERAPIAS DIGITALES

El diseño y la evaluación de estudios clínicos con DTx presentan particularidades que las diferencian de los ensayos convencionales con fármacos o dispositivos médicos. El software evoluciona, incorpora actualizaciones y establece interacciones constantes con las personas usuarias. Esta dinámica obliga a utilizar marcos metodológicos capaces de mantener el rigor científico sin perder flexibilidad.

MARCOS METODOLÓGICOS Y GUÍAS DE REFERENCIA

Las guías tradicionales, como CONSORT, no describen adecuadamente las características específicas de las intervenciones digitales. Para cubrir esta limitación, se han desarrollado extensiones que permiten documentar y evaluar de forma más precisa la lógica terapéutica, el comportamiento del software y la experiencia de uso. Entre ellas, CONSORT-EHEALTH amplía la guía original incorporando aspectos como la descripción tecnológica, la adherencia digital, el uso real, la accesibilidad y las actualizaciones del software (Eysenbach, 2011). Por su parte, SPIRIT proporciona una estructura estandarizada para la elaboración de protocolos de ensayos clínicos, que ha servido de base para adaptaciones posteriores en intervenciones digitales (SPIRIT, 2013). Asimismo, la guía TIDieR permite estandarizar la descripción de intervenciones complejas y asegurar su replicabilidad, detallando componentes, dosis, formato de entrega y grado de personalización (Hoffmann et al., 2014). Más recientemente, iniciativas como iCHECK-DH han establecido criterios de calidad y transparencia específicos para estudios de salud digital, evaluando el diseño, la implementación y la sostenibilidad a lo largo de todo el ciclo de vida de la intervención (Liyanage et al., 2025). En el caso de tecnologías inmersivas, RATE-XR incorpora criterios adicionales relacionados con la tolerancia sensorial, la presencia, el entorno físico, el confort, la interacción y los requisitos de supervisión, siendo ya utilizado como referencia en revistas especializadas como *JMIR XR & Spatial Computing* (Vlake et al., 2024).

No obstante, las terapias digitales no deben evaluarse exclusivamente mediante ensayos controlados aleatorizados. Su naturaleza interactiva y su implementación en contextos reales hacen necesario adoptar enfoques pragmáticos que permitan valorar su efectividad y sostenibilidad más allá del entorno experimental.

ENFOQUES PRAGMÁTICOS PARA ESTUDIOS EN PRÁCTICA REAL

La transición desde entornos controlados hacia la práctica asistencial requiere marcos capaces de capturar dimensiones como el alcance, la adopción, la fidelidad y el mantenimiento de las intervenciones. En este sentido, modelos como RE-AIM o herramientas como PRECIS-2 permiten situar los estudios en el continuo explicativo-pragmático y analizar su aplicabilidad en condiciones reales (Glasgow et al., 1999; Loudon et al., 2015). Estos enfoques pueden complementarse con marcos procedentes de la ciencia de la implementación y del comportamiento, que ayudan a explicar la adopción y el uso de tecnologías en distintos niveles. Entre ellos se incluyen modelos como CFIR, UTAUT, TAM, COM-B o NASSS,



que aportan perspectivas sobre factores individuales, organizativos y sistémicos implicados en el éxito o fracaso de las intervenciones digitales.

Además, la diversidad tecnológica obliga a adaptar estos marcos evaluativos. No es equivalente analizar una aplicación móvil que una intervención inmersiva, donde factores como la presencia, la tolerancia sensorial o la seguridad física adquieren relevancia clínica. En este contexto, herramientas específicas como RATE-XR resultan especialmente útiles, al complementar estándares más generales como CON-SORT-EHEALTH, SPIRIT o TIDieR.

BARRERAS Y DESAFÍOS EN LA IMPLEMENTACIÓN CLÍNICA

A pesar de los avances metodológicos y regulatorios, la implementación de las DTx en la práctica asistencial continúa enfrentando diversos obstáculos que limitan su adopción a gran escala. Estas barreras no solo reflejan cuestiones técnicas, sino también organizativas, culturales y estructurales dentro de los sistemas sanitarios. En primer lugar, la evidencia clínica y la validez externa representan un desafío relevante, ya que el carácter dinámico del software dificulta aplicar los ensayos clínicos tradicionales como única fuente de evidencia. En este contexto, se requieren diseños híbridos que integren estudios pragmáticos y datos del mundo real, con el fin de reflejar la efectividad y seguridad en entornos asistenciales diversos.

Además, las actualizaciones y el ciclo de vida del software plantean retos específicos, dado que cada nueva versión puede modificar elementos clínicos relevantes. Esto hace necesario disponer de mecanismos ágiles de reevaluación y de vigilancia post-comercialización continuada, especialmente en el marco regulatorio europeo y estadounidense. A ello se suma la problemática de la interoperabilidad y la carga organizativa, ya que la falta de integración con las historias clínicas electrónicas y los sistemas de gestión hospitalaria incrementa la carga administrativa y reduce la eficiencia, siendo la interoperabilidad uno de los factores más determinantes para la sostenibilidad a largo plazo.

Por otro lado, la ciberseguridad y la confianza digital constituyen elementos críticos, dado que las DTx manejan información altamente sensible, incluyendo datos conductuales y clínicos. El cumplimiento de normativas como el Reglamento General de Protección de Datos y la legislación nacional en materia de protección de datos resulta imprescindible para garantizar la confianza de pacientes y profesionales, así como la continuidad en su uso. Asimismo, los modelos de financiación y reembolso siguen siendo una barrera significativa, ya que la ausencia de estrategias claras de financiación pública o aseguradora limita su adopción generalizada. En este sentido, Alemania representa una excepción en el contexto europeo gracias al modelo DiGA, que vincula evaluación, prescripción y reembolso.

Finalmente, aspectos como la equidad y la aceptación profesional también influyen de manera decisiva. Las brechas digitales, la desigual alfabetización tecnológica y la falta de formación clínica específica en terapias digitales pueden limitar tanto el acceso como la apropiación por parte de pacientes y profesionales sanitarios. En conjunto, estas barreras ponen de manifiesto que la implementación efectiva de las DTx requiere algo más que validación clínica o certificación regulatoria, siendo necesario un enfoque sistémico que combine rigor científico, acompañamiento organizativo y capacitación profesional, con el objetivo de asegurar su sostenibilidad y equidad a largo plazo.

GESTIÓN ÉTICA DE DATOS Y CONSENTIMIENTO INFORMADO DIGITAL

El desarrollo y la evaluación de terapias digitales implican el tratamiento de información personal especialmente sensible, como datos clínicos, psicológicos o de comportamiento. Por ello, la protección de datos y la privacidad de las personas participantes deben considerarse desde las fases iniciales de diseño del software hasta su uso clínico y la investigación. En Europa, el marco de referencia lo constituyen el Reglamento General de Protección de Datos (RGPD) y la Ley Orgánica 3/2018 de Protección de Datos Personales y garantía de los derechos digitales. Estas normativas establecen obligaciones específicas para desarrolladores, instituciones y profesionales sanitarios que utilicen DTx en entornos asistenciales o de investigación.

Los principios básicos que deben regir toda terapia digital incluyen la licitud, lealtad y transparencia, de modo que el tratamiento de datos se base en una base legal válida, como el consentimiento explícito o el interés público en salud, garantizando que las personas usuarias reciban información clara y comprensible sobre el uso de sus datos. Asimismo, debe respetarse el principio de minimización y limitación de la finalidad, por el cual únicamente pueden recopilarse los datos estrictamente necesarios para la función terapéutica, evitando usos incompatibles con la finalidad asistencial o investigadora. A ello se suma la obligación de garantizar la seguridad y confidencialidad mediante la aplicación de medidas técnicas y organizativas adecuadas, como el cifrado, la seudonimización o el control de accesos, con el objetivo de proteger la información frente a accesos no autorizados o pérdidas de datos. Finalmente, el principio de responsabilidad proactiva implica que tanto el fabricante como la institución sanitaria deben poder demostrar el cumplimiento de la normativa vigente, requiriéndose en muchos casos la realización de una Evaluación de Impacto en Protección de Datos antes de la implantación de la herramienta o del inicio de un estudio clínico.



El consentimiento informado digital forma parte esencial de este marco de protección. Este debe ser libre, específico, informado e inequívoco, y puede formalizarse mediante distintos mecanismos, como la firma digital, la aceptación en pantalla o el registro oral en personas con acceso limitado a medios digitales. En todos los casos, debe quedar documentado dentro del proceso asistencial o investigador, garantizando su trazabilidad y la posibilidad de revocación en cualquier momento. Además, es necesario diferenciar entre el consentimiento que autoriza el uso clínico de la herramienta y aquel que permite el tratamiento de datos con fines de investigación, desarrollo o mejora tecnológica.

Cuando el software implique la transferencia de datos fuera del Espacio Económico Europeo, el responsable del tratamiento debe asegurar que el país receptor ofrece un nivel de protección equivalente o, en su defecto, implementar mecanismos adicionales, como las cláusulas contractuales tipo. El cumplimiento de estos requisitos no constituye únicamente una obligación legal, sino también una condición esencial para garantizar la confianza de pacientes y profesionales, así como para asegurar la calidad, la seguridad y la sostenibilidad de las terapias digitales tanto en la práctica clínica como en la investigación.

Finalmente, la evaluación de una terapia digital debe incorporar variables relacionadas con la ética, la equidad, la interoperabilidad y la gestión de datos. En este sentido, la Tabla 2 sintetiza los principales indicadores y métricas recomendadas para estudios con DTx, incluyendo medidas de seguridad digital, trazabilidad del consentimiento y cumplimiento normativo.

TECNOLOGÍAS DISPONIBLES

El desarrollo de las DTx ha dado lugar a una amplia gama de modelos aplicados tanto a la salud general como al manejo específico del dolor. Estas intervenciones incluyen aplicaciones móviles y plataformas digitales que integran componentes de ejercicio, educación y terapia cognitivo-conductual, así como entornos de realidad virtual que modulan la percepción dolorosa y la respuesta emocional asociada.

En estos casos, el elemento terapéutico es siempre el software, que cumple una finalidad médica específica y está validado mediante evidencia clínica. Los dispositivos de visualización o acceso, como los visores de realidad virtual o los teléfonos móviles, no tienen efecto terapéutico por sí mismos, sino que actúan únicamente como soporte técnico para la intervención digital.

Tabla 2. Variables y métricas recomendadas para estudios con terapias digitales.

OBJETIVO	VARIABLE - INSTRUMENTO DE MEDIDA	MÉTRICA DE RESULTADO
Resultados clínicos (primarios)	Intensidad de dolor (NPRS, VAS), discapacidad (ODI, RMDQ), calidad de vida (EQ-5D, PROMIS-29)	Cambio absoluto o MCID; porcentaje con respuesta clínica ($\geq 30\%$ o $\geq 50\%$)
Resultados clínicos (secundarios)	Interferencia del dolor (BPI), autoeficacia (PSEQ), ansiedad y depresión (HADS)	Diferencia respecto al valor basal; tamaño del efecto; proporción de respondedores
Usabilidad	SUS, MAUQ, uMARS	Puntuación total y por subescalas; umbrales de aceptabilidad (SUS ≥ 68)
Adherencia / participación (engagement)	Tasa de finalización, retención (días 7/30), sesiones por semana, tiempo medio por sesión, usuarios activos diarios/mensuales (DAU/MAU)	Porcentajes, curvas de supervivencia de abandono, áreas bajo la curva de actividad
Experiencia de usuario y satisfacción	CSAT, NPS, cuestionarios ad hoc validados	Media o mediana de puntuaciones; distribución de promotores y detractores (NPS)
Seguridad clínica y eventos adversos digitales	Registro de eventos adversos, ciber-enfermedad, ciber-cinetosis o mareo por RV	Incidencia y gravedad (análogo CTCAE), relación con la intervención, tiempo hasta el evento
Implementación (RE-AIM)	Dominios: alcance, efectividad, adopción, fidelidad, mantenimiento	Cobertura (% de elegibles), adopción profesional o institucional, fidelidad $\geq 80\%$, mantenimiento a 6-12 meses
Resultados económicos	Coste-utilidad (QALYs), uso de recursos (visitas, pruebas), días de baja laboral	ICER (Incremental Cost-Effectiveness Ratio), diferencias de costes, análisis de sensibilidad



OBJETIVO	VARIABLE - INSTRUMENTO DE MEDIDA	MÉTRICA DE RESULTADO
Equidad y accesibilidad	Indicadores socioeconómicos, idioma, nivel educativo, discapacidad, conectividad	Subanálisis por subgrupos; detección de brechas de acceso o efectividad
Ética, consentimiento y protección de datos	RGPD, LOPDGDD, consentimiento dinámico, EIPD	Trazabilidad del consentimiento, cumplimiento de minimización y transferencias seguras
Interoperabilidad y flujo de trabajo	Integración HL7-FHIR, historia clínica electrónica (HCE/HIS), telemedicina	Tiempos de tarea, errores de registro, duplicidades evitadas
Gestión de versiones y algoritmos	Plan de cambios significativos, validación de actualizaciones	Número y tipo de cambios, impacto en resultados, necesidad de reevaluación clínica

Junto a estos modelos basados en software, existen también DTx con componente físico integrado, donde el hardware participa directamente en la acción terapéutica. Entre ellas se encuentran los sistemas de neuromodulación no invasiva o implantable, como los dispositivos de estimulación eléctrica transcutánea o cortical, que utilizan software regulado para ajustar los parámetros de estimulación y registrar la respuesta del paciente. Ejemplos reconocidos en este ámbito son *Quell* (NeuroMetrix), un dispositivo portátil de estimulación eléctrica con plataforma digital asociada, y *Saluda Medical Evoke*, un sistema implantable de estimulación de la médula espinal con bucle cerrado que monitoriza la actividad neural en tiempo real para optimizar la terapia en personas con dolor crónico.

El denominador común entre todas estas tecnologías es su finalidad terapéutica explícita, su validación científica y su supervisión regulatoria, elementos que las distinguen de las aplicaciones de bienestar o autocuidado sin aval clínico.

En el ámbito del dolor, varios modelos han alcanzado ya reconocimiento internacional y uso asistencial.

Las DTx pueden clasificarse en función de su naturaleza tecnológica y del papel que desempeñan el software y el hardware en la intervención terapéutica. En primer lugar, se encuentran las DTx basadas exclusivamente en software, también conocidas como *Software as a Medical Device* (SaMD). Un ejemplo representativo es *RelieVRx* (AppliedVR, EE. UU.), un software terapéutico basado en realidad virtual autorizado por la FDA en 2021 para el tratamiento del dolor lumbar crónico. Esta intervención integra componentes de terapia cognitivo-conductual, respiración guiada y atención plena, siendo el visor de realidad virtual únicamente un soporte técnico para la aplicación. En esta misma categoría se incluye *HelloBetter Chronic Pain* (Alemania), un programa digital basado en terapia cognitivo-conductual y aceptación y compromiso, con marcado CE de Clase I, que incorpora módulos de educación, regulación emocional y afrontamiento del dolor. Asimismo, *Vivira* (Alemania) es una aplicación de rehabilitación digital aprobada por el Bundesinstitut für Arzneimittel und Medizinprodukte e incluida en el directorio DiGA, que ofrece ejercicios personalizados para el dolor de espalda y ha demostrado mejoras funcionales y reducción del dolor en estudios clínicos. También destacan plataformas como *Kaia Health* y *Joint Academy* (Europa), que cuentan con marcado CE y combinan programas de ejercicio terapéutico, educación sanitaria y seguimiento profesional mediante herramientas digitales.

En segundo lugar, se encuentran las DTx híbridas, en las que el software se combina con hardware auxiliar. En este grupo se incluye *Quell* (NeuroMetrix, EE. UU.), un dispositivo portátil de estimulación eléctrica transcutánea que incorpora software regulado para monitorizar la intensidad, el tiempo de uso y la respuesta del paciente, disponiendo de marcado CE y aprobación por la FDA para el manejo del dolor crónico periférico. Otro ejemplo es *Endocare* (Butterfly Therapeutics, Reino Unido), un software de realidad virtual con marcado CE de Clase I destinado al tratamiento del dolor pélvico crónico en personas con endometriosis, que utiliza experiencias audiovisuales guiadas para reducir la ansiedad y la percepción dolorosa.

Por último, existen dispositivos activos o implantables con componentes digitales, en los que el hardware desempeña un papel terapéutico directo junto con el software. Entre ellos destaca *Evoke* (Saluda Medical, EE. UU.), un sistema implantable de estimulación medular con bucle cerrado que monitoriza la respuesta neural en tiempo real y ajusta automáticamente los parámetros eléctricos, aprobado por la FDA en 2022 y disponible con marcado CE en Europa. Asimismo, el sistema *Percept PC* (Medtronic, EE. UU./Europa) es un neuroestimulador implantable para estimulación cerebral profunda que permite registrar señales de campo local, facilitando la personalización de la estimulación en pacientes con



dolor neuropático o síndrome de miembro fantasma y ha sido validado como dispositivo de Clase III bajo el Reglamento (UE) 2017/745. Otro ejemplo es el *Stimwave Freedom Spinal Cord Stimulator* (EE. UU.), un sistema inalámbrico de estimulación medular que permite ajustar los parámetros mediante una aplicación médica supervisada, indicado para dolor crónico refractario y neuropático.

En conjunto, estas tecnologías reflejan la diversidad del ecosistema terapéutico digital actual. En algunos casos, el software constituye la intervención terapéutica en sí misma, mientras que en otros el hardware desempeña un papel activo en la modulación neurológica del dolor. No obstante, todas comparten requisitos esenciales comunes, como la existencia de evidencia clínica, la certificación regulatoria y su aplicación en contextos clínicos supervisados.

PROTOCOLOS Y GUÍAS DE USO

La consolidación de las DTx en la práctica clínica no depende únicamente de la existencia de herramientas validadas, sino también de la disponibilidad de protocolos de aplicación que definan con claridad cómo, cuándo y en quién deben utilizarse. Estos documentos garantizan que las DTx se empleen de manera segura, homogénea y dentro de su propósito terapéutico aprobado. Esta necesidad resulta especialmente relevante dada la diversidad tecnológica actual. Las DTx basadas en software requieren protocolos centrados en la frecuencia de uso, el seguimiento de la adherencia y su integración en la historia clínica. Por su parte, las DTx híbridas, que combinan software con hardware auxiliar, precisan además instrucciones específicas sobre calibración, seguridad técnica y supervisión del dispositivo. En el caso de los dispositivos activos o implantables con acción terapéutica directa, como los sistemas de estimulación medular o cerebral, es imprescindible el uso de protocolos multidisciplinares basados en guías internacionales de neuromodulación y en el control del software médico.

Entre los referentes internacionales destacan el *NICE Evidence Standards Framework* del Reino Unido, que establece niveles de evidencia y criterios para la adopción clínica de tecnologías digitales; el directorio DiGA alemán, que incorpora protocolos de uso para cada terapia digital aprobada; y las guías MDCG 2019-11 de la Unión Europea, que orientan la clasificación del software sanitario en función del riesgo. A nivel global, los documentos del International Medical Device Regulators Forum (IMDRF) constituyen la base para la armonización de estándares clínicos y regulatorios en diferentes jurisdicciones. En España, aunque aún no existen protocolos nacionales específicos, algunos centros han desarrollado guías internas para el uso de DTx en dolor crónico y telerrehabilitación. Ejemplos de ello son el Hospital del Mar y el Vall d'Hebron Barcelona

Hospital Campus, donde se han establecido criterios de inclusión, tiempos de exposición y medidas de seguridad adaptadas al contexto asistencial. Estas iniciativas representan un paso relevante hacia la creación de marcos estandarizados en el ámbito nacional.

En conjunto, los protocolos de uso constituyen el nexo entre la evidencia científica y la práctica clínica, y su desarrollo progresivo permitirá que las DTx se integren en el tratamiento del dolor con las mismas garantías de seguridad, calidad y equidad que otras intervenciones sanitarias.

CASOS DE ÉXITO

El desarrollo de DTx en España se encuentra aún en una fase inicial en comparación con países como Alemania o Estados Unidos. No obstante, ya existen experiencias clínicas y de investigación que demuestran su aplicabilidad y su potencial para mejorar la atención de las personas con dolor. Un ejemplo destacado es el programa de realidad virtual terapéutica desarrollado en el Hospital del Mar (Barcelona), en el que se aplicaron entornos inmersivos en pacientes con dolor musculoesquelético crónico y comorbilidad emocional. El protocolo incluía sesiones semanales de entre 15 y 20 minutos, combinando contenidos de distracción inmersiva y entrenamiento en relajación. Los resultados preliminares evidenciaron una reducción significativa de la ansiedad y una mejor aceptación del tratamiento, lo que favoreció su incorporación dentro de la Unidad de Dolor.

Otro caso relevante procede del Vall d'Hebron Barcelona Hospital Campus, donde la realidad virtual se ha integrado como herramienta complementaria en pacientes hospitalizados con dolor crónico complejo. En este contexto, se definieron criterios de inclusión y exclusión, así como medidas específicas de seguridad para garantizar la tolerancia a la intervención. Los resultados mostraron mejoras en el confort del paciente y, en algunos casos, una reducción en la necesidad de analgesia farmacológica.

En el ámbito de la telerrehabilitación, destaca la plataforma TRAK Rehabilitación, desarrollada en España y validada como producto sanitario de clase I. Esta herramienta permite implementar programas de ejercicio terapéutico supervisado a distancia mediante algoritmos de análisis de movimiento. Su uso en hospitales y clínicas privadas ha mostrado altas tasas de adherencia, satisfacción y mejora funcional, posicionándose como una de las primeras soluciones digitales con reconocimiento regulatorio e integración real en la práctica clínica.

Estas experiencias ponen de manifiesto que, aunque la adopción de DTx sigue siendo desigual y dependiente de iniciativas locales, ya



existen modelos replicables que sientan las bases para una expansión más estructurada. La consolidación de marcos regulatorios y la incorporación de estrategias de financiación pública o aseguradora serán factores determinantes para que estas intervenciones evolucionen desde proyectos piloto hacia componentes estables del sistema sanitario.

CLAVES PARA LA PRÁCTICA CLÍNICA

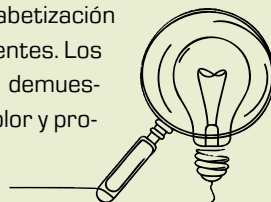
Las terapias digitales (DTx) deben entenderse como intervenciones médicas basadas en software, con evidencia clínica y regulación sanitaria, y no como simples aplicaciones de bienestar. Su eficacia no solo debe demostrarse mediante estudios controlados o pragmáticos, sino también mantenerse en condiciones de práctica real mediante seguimiento y evaluación continua.

El elemento terapéutico en las DTx es el software, mientras que los dispositivos físicos, como visores de realidad virtual o teléfonos móviles, actúan como soporte técnico, salvo en aquellos casos en los que el hardware forma parte activa del tratamiento, como ocurre en los sistemas de neuromodulación. En este contexto, la regulación europea, a través del Reglamento (UE) 2017/745 y del Real Decreto 192/2023, exige el marcado CE, la clasificación por riesgo y la vigilancia post-comercialización como garantías de seguridad y calidad.

La protección de datos y el consentimiento informado digital constituyen pilares clínicos y éticos fundamentales, siendo indispensables para garantizar la seguridad, la confianza y la sostenibilidad de estas intervenciones. Asimismo, el uso de marcos metodológicos específicos, como CONSORT-EHEALTH, SPIRIT-DTx, RE-AIM, PRECIS-2 o RATE-XR, permite diseñar, implementar y evaluar las DTx con rigor científico y transparencia.

Desde el punto de vista evaluativo, es necesario incorporar indicadores que vayan más allá de los resultados clínicos tradicionales, incluyendo aspectos como la usabilidad, la adherencia, la satisfacción del paciente, la seguridad digital y la interoperabilidad. En paralelo, la implementación efectiva de estas terapias requiere su integración en los flujos asistenciales, la conexión con la historia clínica electrónica, la formación de los profesionales sanitarios y el apoyo institucional.

Finalmente, la equidad digital debe considerarse desde las fases iniciales de diseño, garantizando la accesibilidad, la alfabetización tecnológica y la adaptación a distintos perfiles de pacientes. Los casos de éxito desarrollados en el contexto nacional demostrarán que es posible integrar las DTx en unidades de dolor y programas de telerrehabilitación, obteniendo beneficios tanto clínicos como organizativos. •



Recurso clave para investigadores: La Red EQUATOR

Dado que las guías de reporte se actualizan periódicamente, es fundamental consultar la fuente oficial antes de iniciar el diseño del estudio.

EQUATOR Network (Enhancing the QUALity and Transparency Of health Research): es el repositorio global que centraliza y actualiza todas las guías metodológicas (CONSORT, SPIRIT, PRISMA, etc.) y sus extensiones oficiales para salud digital e inteligencia artificial.

Recomendación: Utilice el buscador de la web filtrando por “eHealth” o “Artificial Intelligence” para encontrar las extensiones más recientes.

Acceso: <https://www.equator-network.org/>



Recurso oficial para autorización de investigaciones clínicas

Para realizar estudios clínicos con productos sanitarios en España (incluidas las DTx), es imperativo cumplir con los procedimientos de autorización supervisados por la AEMPS y los Comités de Ética (CEIm), conforme al Real Decreto 1090/2015 y el Reglamento (UE) 2017/745.

Portal de Investigaciones Clínicas con Productos Sanitarios (AEMPS)

Este recurso centraliza:

- Instrucciones para la solicitud de autorización.
- Documentación y formularios requeridos.
- Normativa específica sobre notificaciones y seguimiento.

Acceso directo: <https://www.aemps.gob.es/productos-sanitarios/investigacionclinica-productossanitarios/>



Introducción • 56

Diferencias entre salud digital, telesalud, telemedicina y telerrehabilitación • 57

Regulaciones y desafíos • 59

Comprobaciones mínimas antes de iniciar telemedicina o telerrehabilitación • 61

Aplicaciones en el tratamiento del dolor • 62

Seguimiento clínico estructurado • 62

Intervención terapéutica remota • 63

Apoyo a intervenciones psicológicas y de autogestión • 63

Modelos híbridos de atención • 64

Evidencia científica • 65

La atención remota parece más sólida como complemento estructurado que como sustituto universal • 65

La adherencia sigue siendo una condición crítica de efectividad • 66

Los mejores resultados se observan cuando la intervención incluye componentes terapéuticos activos • 66

La efectividad depende del contexto de aplicación, no solo de la herramienta • 67

Selección de herramientas según objetivo clínico • 67

Herramientas para evaluación y seguimiento • 68

Herramientas para intervención terapéutica remota • 68

Herramientas de apoyo a educación, afrontamiento y autogestión • 68

Herramientas complementarias de monitorización • 69

Herramientas avanzadas o emergentes • 69

Criterio práctico de selección • 69

Casos de éxito • 70

Recomendaciones para la implementación clínica de la telemedicina y la telerrehabilitación en el dolor • 72

Conclusiones prácticas: hacia un modelo híbrido, seguro y clínicamente útil • 76



TELEMEDICINA Y TELERREHABILITACIÓN EN EL MANEJO DEL DOLOR

José Antonio Moral Muñoz y Marta Matamala-Gómez

OBJETIVO PRINCIPAL

Ofrecer a profesionales una síntesis rigurosa y actualizada sobre el uso de la telemedicina y la telerrehabilitación en el manejo del dolor crónico con el fin de facilitar la incorporación segura y eficaz de estas herramientas en la práctica asistencial.

OBJETIVOS SECUNDARIOS

- Clarificar los conceptos y la evolución de la telemedicina, la telerrehabilitación y su relación con la salud digital, estableciendo una jerarquía funcional aplicable al contexto clínico del dolor.
- Analizar las principales aplicaciones de la telesalud en el manejo del dolor crónico, incluyendo el seguimiento remoto, las intervenciones terapéuticas digitales y los modelos de atención híbrida.
- Sintetizar la evidencia científica disponible sobre la eficacia, adherencia y resultados clínicos de las intervenciones de telemedicina y telerrehabilitación en pacientes con dolor.
- Proponer recomendaciones prácticas para la implementación clínica, incluyendo criterios de selección de pacientes, definición de objetivos, elección de herramientas, establecimiento de protocolos y evaluación de resultados.

Moral Muñoz, J.A. y Matamala-Gómez, M. (2026). Telemedicina y telerrehabilitación en el manejo del dolor. En H. Beltrán Alacreu y J. A. Moral Muñoz (eds.), *Salud digital y dolor. Guía para profesionales 2026* (pp. 54–77). Editorial de la SED.

INTRODUCCIÓN

El dolor crónico constituye uno de los principales retos de salud pública a nivel mundial, no solo por su elevada prevalencia, sino también por su impacto sobre la calidad de vida, la funcionalidad y el uso de recursos sanitarios (Dueñas et al., 2025). Su abordaje exige con frecuencia un seguimiento continuado, una atención multidisciplinar y una capacidad de adaptación a la evolución clínica del paciente (Turvill et al., 2026) que no siempre puede garantizarse mediante modelos asistenciales exclusivamente presenciales. En este contexto, la telemedicina y la telerrehabilitación han adquirido un papel cada vez más relevante como herramientas capaces de ampliar el acceso a la atención, mejorar la continuidad asistencial y facilitar intervenciones más flexibles en el manejo del dolor (Cho et al., 2024). Esta visión es coherente con revisiones centradas específicamente en intervenciones de salud móvil para dolor crónico, que han mostrado efectos favorables sobre dolor, calidad de vida y discapacidad funcional (Moreno-Ligero et al., 2023).

La Organización Mundial de la Salud define la telemedicina como la prestación de servicios de salud por profesionales sanitarios cuando la distancia constituye un factor crítico, mediante el uso de tecnologías de la información y la comunicación para el intercambio de información válida para el diagnóstico, el tratamiento, la prevención, la investigación, la evaluación y la formación continuada, con el objetivo de mejorar la salud de las personas y de sus comunidades (World Health Organization [WHO], 2022). Por su parte, la telerrehabilitación puede entenderse como la aplicación de estas tecnologías a la prestación remota de servicios de rehabilitación, incluyendo actividades de cribado, evaluación, intervención, asesoramiento, supervisión y monitorización (Zampolini et al., 2008; WFNR Telerehabilitation SIG, 2025). Ambas modalidades comparten una misma lógica asistencial: acercar la atención al entorno cotidiano del paciente sin renunciar al rigor clínico.

La expansión de estos modelos se aceleró de forma notable durante la pandemia de COVID-19 (Matamala-Gómez et al., 2021), cuando las limitaciones de acceso, el riesgo de infección y la presión sobre los sistemas sanitarios obligaron a buscar alternativas viables a la atención presencial habitual. En ese contexto, la telemedicina dejó de ser una opción complementaria para convertirse en una herramienta esencial, especialmente en pacientes con dolor crónico, cuyo manejo no podía interrumpirse sin consecuencias clínicas y funcionales relevantes (Pritzlaff et al., 2025; Seangrung et al., 2025). Más allá de aquella situación excepcional, esta experiencia puso de manifiesto que las intervenciones a distancia pueden contribuir de forma significativa a mejorar la accesibilidad, sostener

la adherencia terapéutica y facilitar el seguimiento de personas que requieren atención prolongada y especializada.

A partir de este cambio, la telemedicina y la telerrehabilitación han dejado de entenderse únicamente como soluciones de contingencia y han pasado a formar parte del proceso de transformación de la asistencia al dolor. Su interés no reside solo en la posibilidad de sustituir algunas visitas presenciales, sino en permitir nuevas formas de seguimiento, comunicación e intervención clínica adaptadas a las necesidades del paciente y a los recursos del sistema. Este capítulo analiza los fundamentos conceptuales, la evidencia disponible y las implicaciones prácticas de estas herramientas en el manejo del dolor, con el objetivo de ofrecer una visión útil, rigurosa y aplicable a la práctica asistencial.

DIFERENCIAS ENTRE SALUD DIGITAL, TELESALUD, TELEMEDICINA Y TELERREHABILITACIÓN

En el contexto del dolor, diferenciar salud digital, telesalud, telemedicina y telerrehabilitación no es solo una cuestión terminológica, sino una forma de situar correctamente cada herramienta dentro del proceso asistencial (Figura 1). Para el clínico, esta distinción resulta útil porque permite decidir si una tecnología sirve para organizar la atención, para hacer seguimiento, para intervenir terapéuticamente o para sostener un modelo híbrido de cuidados.

Figura 1. Dominios de la salud digital.

Salud Digital

TIC en la atención médica

Telesalud

Servicios de salud generales a distancia

- Educación
- Gestión
- Consulta remota
- Formación

Telemedicina

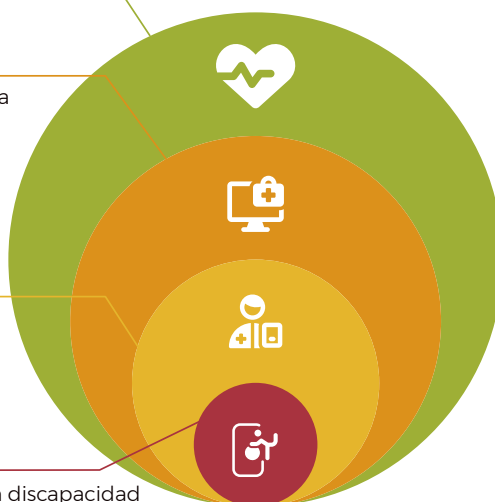
Servicios clínicos directos a distancia

- Diagnóstico y tratamiento
- Seguimiento de pacientes

Telerrehabilitación

Optimiza la función para personas con discapacidad

- Fisioterapia
- Terapias digitales



La **salud digital** es el marco más amplio e incluye el conjunto de tecnologías, sistemas y estrategias digitales aplicadas a la salud, como la historia clínica electrónica, las aplicaciones móviles, los sistemas de monitorización, la inteligencia artificial o las plataformas de comunicación clínica (Roy et al., 2022). En términos prácticos, no define una modalidad asistencial concreta, sino el ecosistema en el que se integran las intervenciones digitales.

La **telesalud** se refiere a la prestación remota de servicios relacionados con la salud y abarca tanto actividades clínicas como no clínicas (Roy et al., 2022). Puede incluir educación sanitaria, formación de profesionales, gestión administrativa o seguimiento no presencial. Su utilidad es principalmente organizativa y de accesibilidad, ya que amplía la capacidad del sistema para mantener contacto con el paciente sin necesidad de coincidencia física (Barbosa et al., 2021). Aunque su expansión reciente se ha acelerado con la digitalización y con la pandemia de COVID-19, la telemedicina no constituye un fenómeno nuevo, sino una modalidad asistencial con un desarrollo histórico prolongado, previo incluso a la actual etapa de salud digital (Strehle & Shabde, 2006).

La **telemedicina** constituye una modalidad clínica específica dentro de la telesalud. Implica la prestación remota de servicios asistenciales directos, como valoración, seguimiento, ajuste terapéutico o toma de decisiones clínicas, cuando la distancia es un factor relevante (World Health Organization [WHO], 2022). En dolor, su valor reside especialmente en el seguimiento estructurado, la revisión de la evolución clínica y el apoyo a modelos asistenciales híbridos (Cho et al., 2024).

La **telerrehabilitación** puede entenderse como una aplicación específica de la telemedicina orientada a procesos de rehabilitación. Incluye la evaluación funcional, la supervisión de ejercicio terapéutico, la educación, la progresión de cargas, el asesoramiento y la monitorización a distancia (WFNR Telerehabilitation SIG, 2025). En pacientes con dolor crónico, este formato resulta especialmente relevante cuando el tratamiento requiere continuidad, repetición y ajustes progresivos fuera del entorno presencial (Cho et al., 2024).

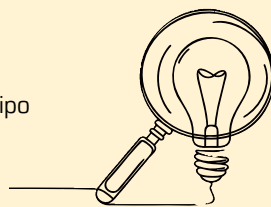
Desde una perspectiva clínica, esta jerarquía permite entender que no todas las herramientas digitales cumplen la misma función. Una plataforma de videoconferencia puede ser suficiente para una revisión clínica puntual; una aplicación móvil puede facilitar autorregistros y adherencia; y un programa de telerrehabilitación puede permitir supervisar ejercicio, educación y evolución funcional durante semanas. Por tanto, la decisión no debería partir de la tecnología disponible, sino de la necesidad clínica que se desea cubrir.

En la práctica, estos conceptos convergen en **modelos híbridos de atención**, en los que la presencialidad y la atención remota se combinan

según el momento clínico, el objetivo terapéutico y las características del paciente (Cho et al., 2024). Esta es la idea central que conviene retener: la telemedicina y la telerrehabilitación no sustituyen de forma generalizada la atención presencial, sino que amplían las posibilidades de seguimiento e intervención cuando se utilizan con una indicación clara y dentro de un plan asistencial definido.

IDEA CLAVE PARA CLÍNICOS

El valor de diferenciar salud digital, telesalud, telemedicina y telerrehabilitación está en saber qué tipo de intervención permite cada una y cuándo conviene aplicarla dentro del proceso asistencial.



REGULACIONES Y DESAFÍOS

La implementación de la telemedicina y la telerrehabilitación en el manejo del dolor no depende únicamente de la disponibilidad tecnológica, sino de que su uso sea clínicamente apropiado, legalmente seguro y organizativamente viable (Kruse et al., 2016; Vorenkamp et al., 2022). Desde la práctica asistencial, estos desafíos no deberían entenderse solo como barreras generales, sino como condiciones que ayudan a decidir cuándo una atención remota es razonable, cuándo debe complementarse con presencialidad y qué requisitos mínimos conviene asegurar antes de ponerla en marcha (Kruse et al., 2016).

Desde el punto de vista regulatorio, uno de los principales problemas sigue siendo la falta de armonización entre marcos legales y profesionales. La atención sanitaria continúa vinculada a jurisdicciones específicas, lo que puede limitar la asistencia remota cuando profesional y paciente se encuentran en distintas regiones o países. Aunque durante y después de la pandemia se han introducido avances normativos, la situación sigue siendo heterogénea y obliga a verificar el marco legal aplicable antes de iniciar programas estables de teleasistencia (HHS, 2025). En términos prácticos, esto implica que la viabilidad de la telemedicina no depende solo de que la herramienta funcione, sino de que el acto asistencial esté amparado por la normativa vigente.

También los modelos de financiación y reembolso condicionan la sostenibilidad real de estas intervenciones (Vorenkamp et al., 2022). La falta de equivalencia con la atención presencial en algunos sistemas sanitarios puede limitar su implantación, incluso cuando existe valor clínico. Por tanto, la incorporación de telemedicina o telerrehabilitación

debe contemplarse no solo como una decisión clínica, sino también como una decisión organizativa que requiere circuitos asistenciales definidos, tiempos asignados y criterios claros de uso (Burstin et al., 2023; Zubrow et al., 2015).

Desde una perspectiva clínica y ética, la protección de datos constituye un requisito básico. La atención remota en dolor implica manejar información sensible sobre síntomas, funcionalidad, estado emocional, hábitos y, en ocasiones, registros continuos obtenidos mediante plataformas o dispositivos conectados. Esto obliga a utilizar entornos seguros, garantizar la confidencialidad, informar al paciente sobre el uso de sus datos y documentar adecuadamente el consentimiento cuando sea necesario (El-Tallawy et al., 2024). En la práctica, la telemedicina no debería apoyarse en herramientas de comunicación improvisadas o no validadas para uso clínico, por cómodas que resulten (El-Tallawy et al., 2024; Zubrow et al., 2015).

Uno de los retos más relevantes en dolor es la limitación de la valoración a distancia. Aunque muchas decisiones de seguimiento, educación terapéutica o ajuste de tratamiento pueden realizarse de forma remota, no toda situación clínica es adecuada para este formato. Cuando existe dolor de reciente aparición, sospecha de patología grave, déficit neurológico, empeoramiento no explicado o necesidad de exploración física compleja, la presencialidad sigue siendo la opción preferente. La atención remota resulta más útil cuando el objetivo es el seguimiento estructurado, la supervisión de un tratamiento ya iniciado o la continuidad asistencial en pacientes clínicamente estables (Vorenkamp et al., 2022).

A ello se suma la necesidad de evitar que la digitalización genere nuevas desigualdades. La telemedicina puede mejorar el acceso en personas con dificultades geográficas o funcionales, pero también puede excluir a quienes presentan baja alfabetización digital, limitaciones cognitivas, escaso soporte familiar o acceso insuficiente a dispositivos y conectividad. Por ello, antes de indicar una modalidad remota conviene valorar no solo si el paciente "puede conectarse", sino si realmente puede beneficiarse del formato sin aumentar la carga, la confusión o el riesgo de una atención de menor calidad (Vorenkamp et al., 2022).

En conjunto, estos desafíos obligan a plantear la telemedicina y la telerrehabilitación como modalidades asistenciales con indicaciones, requisitos y límites, y no como sustitutos universales de la atención presencial. Su integración clínica es más sólida cuando se apoya en criterios previos explícitos: adecuación del caso, seguridad del entorno tecnológico, posibilidad real de seguimiento y existencia de un plan claro de reevaluación presencial si la evolución lo requiere.



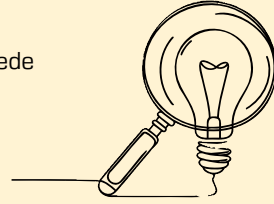
COMPROBACIONES MÍNIMAS ANTES DE INICIAR TELEMEDICINA O TELERREHABILITACIÓN

-  **1 Confirmar adecuación**
Confirmar que el motivo de consulta o seguimiento es adecuado para atención remota
-  **2 Verificar signos de alarma**
Verificar que no existen signos de alarma ni necesidad prioritaria de exploración física presencial
-  **3 Utilizar plataforma segura**
Utilizar una plataforma segura y compatible con los requisitos de confidencialidad
-  **4 Asegurar comprensión del paciente**
Asegurar que el paciente comprende el funcionamiento básico de la herramienta
-  **5 Definir variables de seguimiento**
Definir qué variables se van a seguir y con qué frecuencia se revisarán
-  **6 Establecer criterios de transición**
Establecer criterios explícitos para pasar de modalidad remota a presencial
-  **7 Documentar la intervención**
Documentar la intervención con el mismo rigor clínico que en la atención convencional

Figura 2. Comprobaciones mínimas antes de iniciar telemedicina o telerrehabilitación.

IDEA CLAVE PARA CLÍNICOS

En la práctica, la pregunta no es si la telemedicina puede utilizarse, sino si en ese paciente concreto permite mantener la calidad asistencial, la seguridad clínica y la capacidad de decisión terapéutica.



APLICACIONES EN EL TRATAMIENTO DEL DOLOR

La utilidad clínica de la telemedicina y la telerrehabilitación en dolor no depende de su capacidad para reproducir de forma exacta la atención presencial, sino de su **capacidad para resolver problemas asistenciales concretos**. En la práctica, estas herramientas resultan especialmente útiles cuando permiten mejorar la continuidad del seguimiento, sostener intervenciones activas, reforzar la adherencia o adaptar el tratamiento con mayor rapidez en pacientes adecuadamente seleccionados.

Desde esta perspectiva, sus aplicaciones clínicas pueden organizarse en cuatro grandes funciones:

SEGUIMIENTO CLÍNICO ESTRUCTURADO

Una de las indicaciones más claras de la telemedicina en dolor es el seguimiento de pacientes ya valorados, especialmente cuando existe un diagnóstico conocido, un plan terapéutico en curso y la necesidad de revisar la evolución sin requerir exploración física compleja en cada contacto. En estos casos, la teleconsulta puede facilitar la monitorización de la intensidad del dolor, la interferencia funcional, la adherencia al tratamiento, la tolerancia a la carga terapéutica y la aparición de incidencias relevantes.

Este formato resulta especialmente útil en pacientes con dolor crónico estable o subestable, en fases de revisión, mantenimiento o ajuste progresivo del tratamiento. Su valor aumenta cuando el seguimiento se apoya en autorregistros breves o herramientas digitales que permiten disponer de información longitudinal entre visitas. No obstante, la utilidad del seguimiento remoto depende de que exista una estructura clara de revisión y de que el profesional disponga de criterios para decidir si la evolución es aceptable o si debe replantearse la estrategia terapéutica.

Los datos disponibles muestran, sin embargo, que la adherencia sostenida a aplicaciones y plataformas disminuye con el tiempo si no



existe acompañamiento suficiente. Estudios como eDOL o Manage My Pain reflejan buena aceptación inicial, pero también una reducción progresiva del uso activo a medio y largo plazo (Kerckhove et al., 2022; Bhatia et al., 2021). No obstante, cuando el seguimiento digital se integra con soporte profesional o centros de apoyo, las tasas de adherencia pueden mejorar de forma notable, como se ha observado en modelos combinados de seguimiento mediante aplicación móvil y soporte asistencial (Gómez-González et al., 2025). Desde el punto de vista clínico, esto obliga a no confundir disponibilidad de seguimiento con seguimiento efectivo. La herramienta solo aporta valor si el paciente puede mantener su uso y si los datos obtenidos se traducen en decisiones reales.

INTERVENCIÓN TERAPÉUTICA REMOTA

La telemedicina y, sobre todo, la telerrehabilitación también pueden utilizarse como soporte directo de intervenciones terapéuticas. En dolor musculoesquelético crónico, este formato permite desarrollar programas de ejercicio terapéutico, educación en dolor y progresión funcional mediante videoconferencia o plataformas digitales estructuradas. Su indicación es especialmente razonable cuando el paciente ya ha sido evaluado, comprende los objetivos del tratamiento y puede ejecutar las tareas prescritas con supervisión remota suficiente.

La evidencia disponible sugiere que, en contextos bien organizados, la fisioterapia por videoconferencia y los programas de telerrehabilitación pueden ofrecer resultados comparables a la atención presencial en variables como dolor y función, aunque su efectividad depende del diseño del programa, del apoyo profesional y de la capacidad del paciente para participar activamente (Fritz et al., 2024). En términos prácticos, esto significa que la atención remota puede ser una opción válida para sostener tratamiento activo, pero no debería utilizarse de forma indiscriminada en pacientes con elevada complejidad diagnóstica, mala comprensión del plan terapéutico o necesidad de exploración física repetida.

APOYO A INTERVENCIONES PSICOLÓGICAS Y DE AUTOGESTIÓN

Otra indicación relevante de la telemedicina en dolor es facilitar intervenciones educativas, psicológicas y de autogestión, especialmente cuando el objetivo es mejorar el afrontamiento, reducir barreras de acceso y mantener contacto terapéutico continuado. La terapia cognitivo-conductual administrada mediante telemedicina ha mostrado efectos clínicamente significativos en dolor crónico, tanto en intensidad como en discapacidad, especialmente cuando se implementa de forma estructurada y con seguimiento suficiente (DeBar et al., 2025).

De forma complementaria, los programas digitales que combinan educación, estrategias de afrontamiento, *mindfulness*, aceptación y ejercicio pueden reforzar la participación del paciente y ampliar el acceso a componentes terapéuticos que, en muchos contextos, resultan difíciles de sostener exclusivamente de forma presencial (Morcillo-Muñoz et al., 2022). Su principal utilidad clínica no reside en sustituir la relación terapéutica, sino en aumentar la continuidad del tratamiento y facilitar la práctica entre sesiones. De nuevo, los mejores resultados no parecen depender de la herramienta aislada, sino de su integración dentro de un proceso terapéutico reconocible y supervisado.

MODELOS HÍBRIDOS DE ATENCIÓN

Probablemente, la aplicación más realista y clínicamente sólida de la telemedicina en dolor sea su integración en modelos híbridos, en los que la atención presencial y remota se combinan según el momento clínico y las necesidades del paciente. Este enfoque permite reservar la presencialidad para la valoración inicial, la exploración física, la reevaluación ante cambios relevantes o las fases de mayor complejidad, y utilizar la modalidad remota para seguimiento, educación, supervisión terapéutica o apoyo a la adherencia.

Este modelo resulta especialmente útil en dolor crónico, donde el tratamiento requiere continuidad, adaptación progresiva y contacto repetido, pero no siempre exige presencia física. Además, puede mejorar la accesibilidad en personas con dificultades geográficas, funcionales o logísticas, siempre que no se convierta en una forma de atención simplificada o de menor calidad. En este sentido, el objetivo no debería ser sustituir visitas, sino redistribuirlas con mayor criterio clínico.

En conjunto, la telemedicina y la telerrehabilitación aportan valor cuando se utilizan para responder a una necesidad asistencial concreta y cuando su uso se integra en una estrategia terapéutica definida. Su papel no es reemplazar la atención presencial, sino ampliar la capacidad de seguimiento, intervención y adaptación del tratamiento en pacientes bien seleccionados.

La telemedicina y la telerrehabilitación pueden aportar mayor valor en ciertas situaciones (Figura 3).



Figura 3. Ejemplos de situaciones en las que la telemedicina y telerrehabilitación pueden aportar más valor clínico.

EVIDENCIA CIENTÍFICA

La evidencia disponible sugiere que la telemedicina y la telerrehabilitación pueden ofrecer resultados clínicos comparables a la atención presencial en determinados contextos de dolor crónico, especialmente cuando se integran en programas estructurados, con objetivos definidos y seguimiento profesional suficiente. Sin embargo, estos resultados no deben interpretarse como una validación indiscriminada de cualquier formato remoto, sino como una indicación de que su efectividad depende en gran medida de qué intervención se aplica, en qué pacientes y con qué nivel de soporte clínico.

Desde una perspectiva práctica, la evidencia puede resumirse en las siguientes ideas:

LA ATENCIÓN REMOTA PARECE MÁS SÓLIDA COMO COMPLEMENTO ESTRUCTURADO QUE COMO SUSTITUTO UNIVERSAL

Los mejores resultados se observan cuando la telemedicina o la telerrehabilitación forman parte de un programa clínico reconocible, y no cuando se utilizan como herramientas aisladas. En este sentido, la

atención remota parece especialmente útil para sostener seguimiento, supervisar tratamientos ya iniciados y facilitar continuidad asistencial en dolor crónico, más que para reemplazar de forma generalizada toda la atención presencial. Esta idea es consistente con estudios y revisiones que muestran resultados comparables en dolor y función cuando la intervención está bien definida y cuenta con soporte profesional (Murphy et al., 2024; Fritz et al., 2024).

LA ADHERENCIA SIGUE SIENDO UNA CONDICIÓN CRÍTICA DE EFECTIVIDAD

Uno de los principales determinantes del beneficio clínico no es el formato remoto en sí mismo, sino la capacidad de mantener la participación del paciente a lo largo del tiempo. La evidencia muestra que la accesibilidad puede reducir ciertas barreras logísticas y favorecer la continuidad terapéutica en comparación con algunos programas presenciales, como se ha observado en determinados entornos clínicos organizados (Murphy et al., 2024; Glynn et al., 2021). Sin embargo, en aplicaciones móviles y programas digitales de autogestión, la participación suele disminuir progresivamente, incluso cuando la percepción inicial del paciente es positiva (Kerckhove et al., 2022; Bhatia et al., 2021). En consecuencia, la adherencia no debería considerarse una ventaja automática de la digitalización, sino una variable que debe diseñarse, monitorizarse y reforzarse de forma activa.

LOS MEJORES RESULTADOS SE OBSERVAN CUANDO LA INTERVENCIÓN INCLUYE COMPONENTES TERAPÉUTICOS ACTIVOS

La evidencia es más consistente cuando la atención remota incorpora intervenciones estructuradas, como ejercicio terapéutico, educación en dolor o tratamiento psicológico, y no se limita al contacto a distancia o a la simple monitorización. En dolor musculoesquelético crónico, los programas de telerrehabilitación pueden ofrecer resultados comparables a la atención presencial en variables como dolor, discapacidad y función, siempre que existan criterios adecuados de selección, seguimiento y adaptación del tratamiento (Fritz et al., 2024; Araújo et al., 2023). Del mismo modo, los programas de terapia cognitivo-conductual administrados mediante telemedicina han mostrado beneficios clínicamente relevantes frente a la atención habitual, con mantenimiento de parte de los efectos en el tiempo (DeBar et al., 2025).

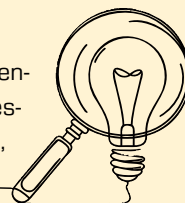
LA EFECTIVIDAD DEPENDE DEL CONTEXTO DE APLICACIÓN, NO SOLO DE LA HERRAMIENTA

Los resultados clínicos y organizativos de la telemedicina no dependen exclusivamente de la tecnología utilizada, sino también del modelo asistencial en el que se integra. Algunos estudios han descrito beneficios en satisfacción, accesibilidad e incluso eficiencia, pero estos hallazgos deben interpretarse en función del contexto sanitario, de la organización del seguimiento y del perfil de los pacientes atendidos (Sang & Song, 2023). Por ello, el valor de la evidencia no reside en concluir que “la telemedicina funciona” de forma general, sino en identificar bajo qué condiciones clínicas y organizativas tiene más probabilidad de aportar valor real.

En conjunto, la evidencia actual respalda el uso de la telemedicina y la telerrehabilitación como modalidades válidas dentro del manejo del dolor crónico, sobre todo en modelos híbridos y programas estructurados. No obstante, también muestra que sus resultados son sensibles a factores como la selección de pacientes, la claridad de los objetivos terapéuticos, la facilidad de uso de las herramientas, la calidad del soporte profesional y la capacidad del sistema para sostener la adherencia. En consecuencia, la atención remota debe entenderse como una opción clínicamente útil en escenarios bien definidos, y no como una alternativa universal a la presencialidad.

IDEA CLAVE PARA CLÍNICOS

Más que demostrar una superioridad universal frente a la atención presencial, la evidencia actual ayuda a delimitar en qué escenarios la atención remota puede integrarse con seguridad, eficacia y sentido clínico dentro del manejo del dolor.



SELECCIÓN DE HERRAMIENTAS SEGÚN OBJETIVO CLÍNICO

En el manejo del dolor, la elección de herramientas digitales no debería basarse en su novedad ni en su complejidad técnica, sino en su capacidad para responder a una necesidad clínica concreta. Desde esta perspectiva, la pregunta relevante no es qué tecnología está disponible, sino qué tipo de herramienta resulta más adecuada para evaluar, seguir, tratar o apoyar al paciente en un momento determinado del proceso asistencial.

HERRAMIENTAS PARA EVALUACIÓN Y SEGUIMIENTO

Cuando el objetivo principal es revisar la evolución del dolor, monitorizar síntomas o valorar la respuesta al tratamiento, suelen ser suficientes herramientas relativamente simples, como plataformas de teleconsulta seguras, autorregistros digitales o aplicaciones móviles orientadas al seguimiento. Estas soluciones permiten recoger información sobre intensidad del dolor, localización, interferencia funcional, sueño, uso de medicación, adherencia y evolución temporal de los síntomas.

Su principal utilidad clínica radica en facilitar una visión longitudinal del problema entre visitas, especialmente en pacientes ya evaluados y con un plan terapéutico definido. En estos casos, la herramienta más adecuada no es necesariamente la que recoge más datos, sino la que permite obtener información relevante, interpretable y sostenible en el tiempo.

HERRAMIENTAS PARA INTERVENCIÓN TERAPÉUTICA REMOTA

Cuando el objetivo es mantener o progresar un tratamiento activo, cobran mayor relevancia las plataformas que permiten supervisar ejercicio terapéutico, ofrecer educación estructurada y mantener contacto clínico continuado. En telerrehabilitación, esto incluye principalmente sistemas de videoconferencia, plataformas con contenidos guiados, programas de ejercicio personalizados y, en algunos casos, herramientas con retroalimentación sobre ejecución o adherencia.

Estas soluciones son especialmente útiles en pacientes con dolor musculoesquelético crónico ya valorados, en fases de continuidad terapéutica o mantenimiento funcional. Su valor no depende tanto de la sofisticación técnica como de que permitan ajustar cargas, resolver dudas, reforzar adherencia y mantener coherencia con los objetivos del plan terapéutico.

HERRAMIENTAS DE APOYO A EDUCACIÓN, AFRONTAMIENTO Y AUTOGESTIÓN

En pacientes que requieren mayor acompañamiento entre visitas, las aplicaciones y plataformas que integran contenidos educativos, estrategias de afrontamiento o recordatorios terapéuticos pueden ser un complemento útil. Su papel clínico no consiste en sustituir la intervención profesional, sino en extender parte del trabajo terapéutico fuera de la consulta y reforzar la continuidad del proceso.

En este grupo pueden incluirse herramientas con módulos de educación en dolor, pautas de actividad, ejercicios domiciliarios, técnicas de relajación o componentes de intervención psicológica. Su indicación es especialmente razonable cuando el objetivo clínico incluye mejorar la comprensión del problema, favorecer la participación activa del paciente o reducir la dependencia exclusiva de contactos presenciales.

HERRAMIENTAS COMPLEMENTARIAS DE MONITORIZACIÓN

Los dispositivos portátiles, *wearables* y otros sistemas de monitorización pueden aportar información adicional sobre actividad física, sueño, frecuencia cardíaca o patrones de comportamiento relacionados con la evolución clínica. Sin embargo, su indicación debería reservarse para situaciones en las que estos datos añadan valor real al razonamiento clínico, y no como recurso de uso rutinario indiscriminado.

En la práctica, estas herramientas pueden ser útiles cuando se desea observar la tolerancia a la carga, la regularidad de la actividad, la evolución funcional o determinados hábitos de salud. No obstante, conviene evitar que la monitorización genere una carga excesiva, aumente la focalización sobre los síntomas o aporte datos difíciles de interpretar en la práctica asistencial.

HERRAMIENTAS AVANZADAS O EMERGENTES

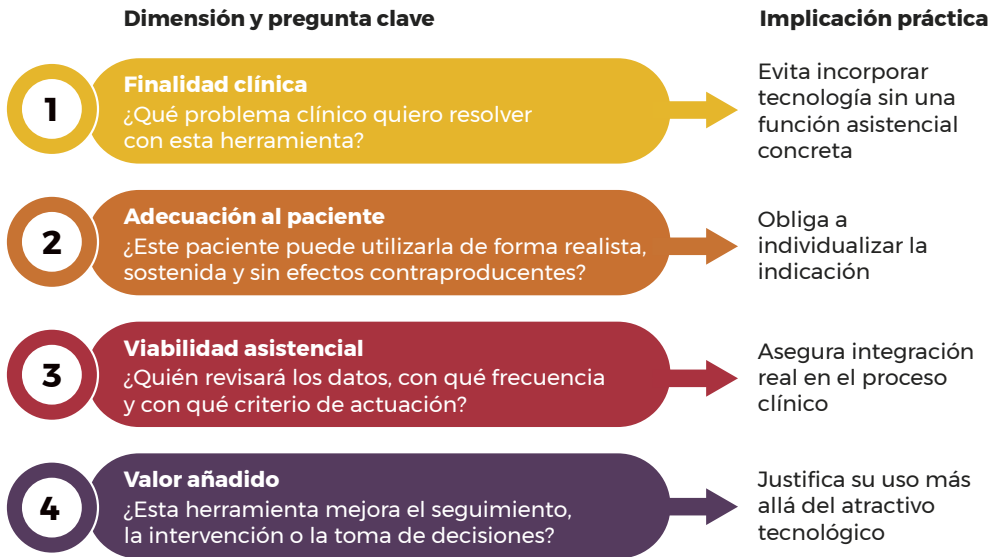
La realidad virtual, la inteligencia artificial y algunos sistemas más complejos de análisis o retroalimentación representan líneas de desarrollo con interés creciente en el manejo del dolor. Entre estas herramientas, la realidad virtual ha mostrado un interés creciente como complemento terapéutico en dolor y neurorrehabilitación, especialmente por su potencial para facilitar distracción atencional, exposición graduada y entrenamiento funcional en contextos remotos (Matamala-Gomez et al., 2021). No obstante, desde una perspectiva clínica, su incorporación debe ser prudente. Estas herramientas pueden resultar prometedoras en contextos específicos, pero su utilidad práctica depende de factores como validación, accesibilidad, coste, integración con el flujo asistencial y capacidad real para mejorar decisiones o resultados. Por ello, en un capítulo orientado a la práctica clínica conviene situarlas como recursos complementarios o emergentes, y no como núcleo del abordaje habitual.

En conjunto, la selección de herramientas debería seguir una lógica escalonada: **comenzar con la solución más simple capaz de responder al objetivo clínico y añadir complejidad solo cuando exista una justificación clara.** Este enfoque reduce el riesgo de tecnificación innecesaria y favorece una integración más realista de la telemedicina y la telerrehabilitación en el manejo del dolor.

CRITERIO PRÁCTICO DE SELECCIÓN

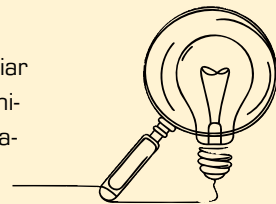
Antes de incorporar una herramienta digital, conviene tener en cuenta cuatro aspectos (Figura 4). Si alguno de estos criterios no tiene una respuesta clara, probablemente la tecnología elegida no esté suficientemente justificada desde el punto de vista clínico.

Figura 4. Criterios prácticos para seleccionar una herramienta digital.



IDEA CLAVE PARA CLÍNICOS

El valor de las tecnologías digitales no reside en ampliar indefinidamente el repertorio de herramientas disponibles, sino en integrarlas con criterio dentro de programas asistenciales coherentes y evaluables.



CASOS DE ÉXITO

La consolidación de la telemedicina y la telerrehabilitación en el manejo del dolor se refleja en el desarrollo de soluciones digitales que han demostrado aplicabilidad clínica en contextos reales. Estos casos permiten observar cómo las tecnologías pueden integrarse en modelos asistenciales concretos, aportando valor tanto en el tratamiento como en la evaluación y el seguimiento del dolor.

En el ámbito de las intervenciones terapéuticas, destacan aquellas soluciones que combinan diferentes componentes del abordaje biopsicosocial. RelieVRx constituye un ejemplo relevante, al tratarse de una

intervención basada en realidad virtual autorizada por la administración de alimentos y medicamentos de Estados Unidos (FDA, por sus siglas en inglés) para el tratamiento del dolor lumbar crónico. Este programa integra técnicas de terapia cognitivo-conductual, conciencia corporal, distracción y relajación mediante sesiones estructuradas que el paciente realiza en su domicilio. Los estudios disponibles han mostrado reducciones significativas en la intensidad del dolor y en su interferencia funcional, junto con altos niveles de satisfacción, lo que ilustra el potencial de las terapias digitales para trasladar intervenciones complejas fuera del entorno clínico.

En una línea similar, herramientas como Pathway through Pain y HelloBetter Chronic Pain representan programas digitales estructurados que integran educación, ejercicio y estrategias psicológicas. Estas soluciones permiten reproducir, en formato digital, componentes habituales de los programas intensivos de manejo del dolor, favoreciendo la autogestión y reduciendo la necesidad de visitas presenciales. Del mismo modo, aplicaciones como Kaia Back Pain o ViViRA han desarrollado modelos centrados en el dolor lumbar que combinan ejercicio terapéutico guiado, educación y seguimiento de la evolución, adaptando el contenido en función de la respuesta del paciente.

Más allá de las intervenciones centradas en el tratamiento, existen soluciones orientadas principalmente a la evaluación y monitorización del dolor. PainChek, por ejemplo, utiliza inteligencia artificial para analizar microexpresiones faciales y detectar indicadores de dolor, siendo especialmente útil en contextos en los que la comunicación del paciente está limitada, como en personas mayores o con deterioro cognitivo. Su implementación en entornos residenciales ha mostrado mejoras en la gestión del dolor y una reducción en el uso de determinados fármacos. Por su parte, herramientas como Painometer permiten registrar la intensidad y localización del dolor mediante escalas validadas, facilitando un seguimiento más sistemático y estandarizado. En esta misma línea, plataformas como PainScale integran diarios de dolor con contenidos educativos y estrategias de autogestión, contribuyendo a mejorar la implicación del paciente en su propio proceso terapéutico.

En el ámbito de los modelos asistenciales integrados, soluciones como Hinge Health o Sword Health representan un paso más hacia programas completos de manejo remoto del dolor musculoesquelético. Estas plataformas combinan ejercicio terapéutico, educación y acompañamiento clínico, incorporando en algunos casos sensores de movimiento o sistemas de monitorización que permiten ajustar las intervenciones de forma continua. Su valor reside en la capacidad de ofrecer programas estructurados, escalables y supervisados, alineados con modelos de atención híbridos.

En conjunto, estos casos de éxito reflejan dos tendencias principales en la digitalización del manejo del dolor. Por un lado, el desarrollo de intervenciones terapéuticas basadas en la evidencia que pueden desplegarse en el entorno domiciliario, ampliando el acceso y la continuidad del tratamiento. Por otro, la consolidación de herramientas de evaluación y seguimiento que permiten capturar información de forma más sistemática y contextualizada. Su integración progresiva en los sistemas sanitarios apunta hacia modelos asistenciales más flexibles, personalizados y centrados en la persona, en los que la tecnología actúa como facilitador del proceso clínico y no como un sustituto del mismo.

RECOMENDACIONES PARA LA IMPLEMENTACIÓN CLÍNICA DE LA TELEMEDICINA Y LA TELERREHABILITACIÓN EN EL DOLOR

La incorporación de la telemedicina y la telerrehabilitación en el manejo del dolor resulta más eficaz cuando se plantea como una **integración progresiva y clínicamente dirigida**, y no como una sustitución indiscriminada de la atención presencial. En la práctica, su implementación puede organizarse en una secuencia sencilla de seis decisiones:

1. SELECCIONAR ADECUADAMENTE A LOS PACIENTES

El primer paso no es elegir la tecnología, sino identificar si el caso clínico es adecuado para atención remota. En general, la telemedicina y la telerrehabilitación suelen encajar mejor en pacientes con dolor crónico ya evaluado, diagnóstico razonablemente establecido, objetivos terapéuticos definidos y capacidad suficiente para participar en seguimiento remoto. También pueden resultar útiles en personas con barreras geográficas, limitaciones de desplazamiento o necesidad de contacto más frecuente entre visitas.

Por el contrario, la modalidad remota no debería plantearse como vía principal en situaciones de dolor de nueva aparición con incertidumbre diagnóstica, sospecha de patología grave, déficit neurológico, empeoramiento no explicado, necesidad de exploración física compleja o baja capacidad del paciente para sostener el formato digital. En estos casos, la presencialidad sigue siendo prioritaria.

2. DEFINIR UNA PREGUNTA CLÍNICA CONCRETA

La telemedicina aporta más valor cuando responde a una necesidad asistencial bien delimitada. Antes de iniciar un programa remoto conviene



concretar qué se pretende conseguir: revisar evolución, ajustar tratamiento, supervisar ejercicio terapéutico, mejorar adherencia, reforzar educación terapéutica o sostener una intervención psicológica o multimodal.

Esta decisión es clave porque la herramienta y el formato deben derivarse del objetivo clínico, y no al revés. Cuando este punto no está claro, es frecuente generar contactos o registros con escasa utilidad real para la toma de decisiones.

3. ELEGIR LA HERRAMIENTA MÁS SIMPLE CAPAZ DE CUMPLIR EL OBJETIVO

En la mayoría de los casos, no es necesario recurrir a soluciones complejas. Una teleconsulta estructurada, apoyada en escalas validadas y autorregistros breves, puede ser suficiente para muchas situaciones de seguimiento clínico. Si el objetivo es sostener tratamiento activo, pueden añadirse plataformas de videoconferencia, materiales guiados, registros de adherencia o programas digitales estructurados. Los *wearables*, sensores u otras tecnologías más complejas deberían reservarse para situaciones en las que aporten una información realmente útil para el razonamiento clínico.

Desde una perspectiva práctica, conviene evitar la tecnificación innecesaria: una herramienta más compleja no implica una atención mejor si no cambia la decisión clínica.

4. ESTABLECER UN PROTOCOLO DE SEGUIMIENTO ANTES DE INICIAR LA MODALIDAD REMOTA

Para que la telemedicina tenga valor clínico, el seguimiento no puede depender de la improvisación. Antes de iniciar la intervención conviene definir qué variables se van a revisar, con qué frecuencia y qué cambios se considerarán clínicamente relevantes. En dolor, esto suele incluir al menos intensidad del dolor, interferencia funcional, evolución de la actividad, adherencia al tratamiento, tolerancia a la carga terapéutica y aparición de incidencias o signos de alarma.

También es útil concretar la periodicidad de los contactos. En muchos pacientes, una combinación razonable puede consistir en teleconsultas breves programadas cada 3-6 semanas, apoyadas en registros intermedios sencillos, aunque esta frecuencia debe ajustarse al tipo de dolor, al momento clínico y al plan terapéutico.

5. DEFINIR CRITERIOS DE PASO DE MODALIDAD REMOTA A PRESENCIAL

Uno de los elementos más importantes del protocolo es establecer desde el inicio en qué situaciones debe recuperarse la atención presencial. Entre

los motivos más habituales se incluyen empeoramiento mantenido del dolor, aparición de nuevos síntomas, sospecha de cambio diagnóstico, respuesta insuficiente al tratamiento, dificultades importantes de comunicación o imposibilidad de valorar adecuadamente el problema a distancia.

Este punto es especialmente importante para evitar que la telemedicina se mantenga por inercia en contextos en los que ya no ofrece una calidad asistencial suficiente.

6. EVALUAR RESULTADOS CLÍNICOS Y VIABILIDAD REAL DEL MODELO

La implementación no debería considerarse completa si no se evalúa su resultado. Desde una perspectiva clínica, conviene valorar no solo cambios en dolor o función, sino también adherencia, satisfacción, comprensión del tratamiento, continuidad asistencial y viabilidad organizativa. En algunos contextos, una reducción del dolor de al menos un 30 %, una mejora funcional perceptible o un mantenimiento adecuado del plan terapéutico pueden considerarse indicadores razonables de utilidad, siempre en función del caso y del objetivo planteado.

Asimismo, conviene revisar periódicamente si la modalidad remota está ahorrando barreras sin generar otras nuevas, como sobrecarga de registros, fatiga digital, baja participación o pérdida de calidad en la valoración clínica.

En conjunto, la telemedicina y la telerrehabilitación se integran mejor en la práctica clínica cuando se aplican con indicaciones claras, herramientas proporcionales, seguimiento estructurado y criterios explícitos de reevaluación. Su éxito depende menos de la tecnología empleada que de la capacidad del equipo clínico para incorporarlas de manera coherente al proceso asistencial.

SELECCIÓN DE LA MODALIDAD ASISTENCIAL

La selección de la modalidad asistencial no debería depender solo de la disponibilidad tecnológica, sino del momento clínico, del objetivo terapéutico y de la capacidad del paciente para beneficiarse del formato. Para facilitar la aplicación de estas recomendaciones, puede resultar útil resumir el proceso de decisión en un algoritmo clínico sencillo (Figura 5).

Este algoritmo debe interpretarse como una guía orientativa. La decisión final dependerá del contexto asistencial, de la complejidad del caso y de la capacidad real del paciente para beneficiarse de la modalidad remota sin comprometer la calidad de la atención.



Figura 5. Algoritmo práctico para la implementación clínica de la telemedicina y la telerrehabilitación en pacientes con dolor.



CONCLUSIONES PRÁCTICAS: HACIA UN MODELO HÍBRIDO, SEGURO Y CLÍNICAMENTE ÚTIL

La telemedicina y la telerrehabilitación han pasado de ser recursos complementarios a constituir modalidades asistenciales con utilidad real en el manejo del dolor crónico. Sin embargo, su valor clínico no depende de la mera disponibilidad tecnológica, sino de la capacidad para integrarlas con criterio dentro del razonamiento clínico y del circuito asistencial.

A la luz de la evidencia disponible, estas herramientas parecen especialmente útiles cuando se aplican en pacientes adecuadamente seleccionados, con objetivos terapéuticos definidos y dentro de programas estructurados que combinan seguimiento profesional, continuidad asistencial y posibilidad de reevaluación presencial. En este sentido, su principal aportación no es sustituir la consulta tradicional, sino ampliar la capacidad del sistema para seguir, ajustar y sostener el tratamiento en el tiempo.

Desde una perspectiva práctica, el mensaje central del capítulo es claro: **la telemedicina aporta más valor cuando se utiliza para resolver una necesidad clínica concreta**. Puede ser útil para revisar evolución, supervisar ejercicio terapéutico, reforzar autogestión, facilitar intervenciones psicológicas o reducir barreras de acceso. No obstante, su utilidad disminuye cuando existe incertidumbre diagnóstica, necesidad de exploración física compleja, signos de alarma o baja capacidad del paciente para beneficiarse del formato remoto.

El desarrollo de modelos híbridos parece, por tanto, la opción más sólida y realista. Este enfoque permite reservar la presencialidad para la valoración inicial, la exploración, la reevaluación y las fases de mayor complejidad, y utilizar la modalidad remota para seguimiento, soporte terapéutico y continuidad del tratamiento. Más que una oposición entre formatos, lo que emerge es una redistribución más eficiente y clínicamente razonable de los contactos asistenciales.

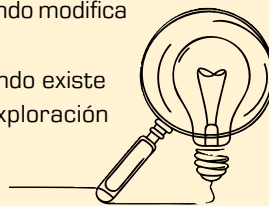
En este contexto, el papel del profesional sanitario sigue siendo central. La tecnología no sustituye la interpretación clínica, la toma de decisiones ni la relación terapéutica. Su función consiste en ampliar la información disponible, facilitar el contacto y sostener determinadas intervenciones, pero siempre subordinada al juicio clínico y a la situación concreta del paciente.

En definitiva, la telemedicina y la telerrehabilitación no deberían incorporarse por inercia tecnológica ni por presión organizativa, sino por su capacidad para aportar **valor clínico, seguridad asistencial y viabilidad**

real. Su integración será más útil cuanto más claramente se definan las indicaciones, los límites, los criterios de seguimiento y las condiciones de reevaluación presencial. •

MENSAJES CLAVE PARA CLÍNICOS

- La telemedicina y la telerrehabilitación no deben entenderse como sustitutos universales de la atención presencial.
- Su utilidad clínica depende de la selección adecuada de pacientes, la definición de objetivos y la existencia de seguimiento estructurado.
- La modalidad remota suele aportar más valor en dolor crónico ya evaluado, especialmente en contextos de seguimiento, continuidad terapéutica y modelos híbridos.
- La adherencia, la usabilidad y la capacidad del paciente para sostener el formato son determinantes de efectividad.
- La tecnología solo resulta clínicamente útil cuando modifica o apoya decisiones asistenciales reales.
- La presencialidad sigue siendo prioritaria cuando existe incertidumbre diagnóstica, necesidad de exploración física compleja o riesgo de infravaloración clínica.



Definición y fundamentos teóricos • 80

Tecnologías disponibles para la monitorización digital del dolor • 85

Aplicaciones clínicas basadas en evidencia científica • 88

Evaluación fisiológica complementaria • 89

Monitorización funcional y de hábitos • 89

Apoyo a intervenciones terapéuticas • 90

Seguimiento estructurado del tratamiento • 91

Panorama actual de la evidencia • 91

Comparación con los métodos tradicionales • 92

Barreras y limitaciones • 94

Modelo integrador • 97

Criterios prácticos para el clínico • 99

Conclusión • 102



MONITORIZACIÓN DIGITAL DEL DOLOR

Marta Moreno Ligero, José Antonio Moral Muñoz y Héctor Beltrán Alacreu

OBJETIVO PRINCIPAL

Analizar el papel de la monitorización digital en el manejo del dolor, evaluando sus fundamentos tecnológicos, evidencia científica y aplicabilidad clínica.

OBJETIVOS SECUNDARIOS

- Comprender los tipos de tecnologías implicadas en la monitorización digital (sensores, *wearables* y aplicaciones móviles).
- Evaluar su utilidad clínica en la valoración, seguimiento y apoyo terapéutico del dolor agudo y crónico.
- Identificar limitaciones, barreras y consideraciones éticas en su implementación.
- Proponer un modelo integrador que facilite su uso racional dentro del razonamiento clínico.

DEFINICIÓN Y FUNDAMENTOS TEÓRICOS

La monitorización digital puede definirse como el proceso sistemático de registro, seguimiento y análisis de datos relacionados con la salud mediante dispositivos electrónicos con capacidad de captura repetida o continua. En el ámbito sanitario, su expansión se ha vinculado al desarrollo de modelos de seguimiento remoto, especialmente en enfermedades crónicas, con potencial para optimizar recursos y reducir costes directos e indirectos (Malasinghe et al., 2019; De Guzman et al., 2022; Smedslund et al., 2025).

Desde una perspectiva clínica, la monitorización digital permite trasladar parte de la evaluación fuera del entorno hospitalario o ambulatorio tradicional, favoreciendo el seguimiento domiciliario y la continuidad asistencial. En el caso del dolor, su interés no reside en medir más, sino en comprender mejor su comportamiento a lo largo del tiempo: fluctuaciones diarias, patrones temporales, posibles desencadenantes e impacto funcional. Esta perspectiva longitudinal complementa la entrevista clínica y la exploración física, y facilita una interpretación más contextualizada de la evolución del paciente.

En este marco, la monitorización digital del dolor debe entenderse como una herramienta de apoyo al razonamiento clínico y no como un sustituto de la valoración profesional. Su utilidad reside en integrar información subjetiva, funcional y, en algunos casos, fisiológica, dentro de un enfoque biopsicosocial de la atención al dolor.

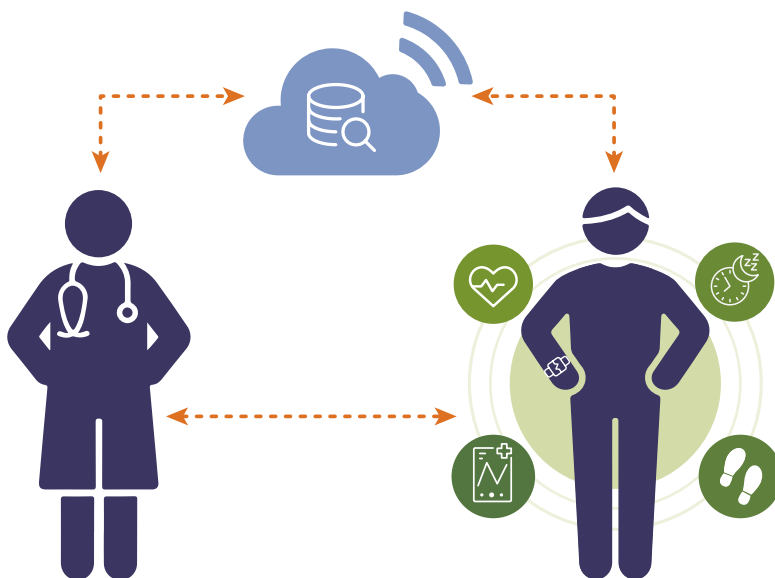
El ecosistema tecnológico que sustenta esta monitorización incluye sensores biomédicos, dispositivos portátiles o *wearables*, sensores ambientales y aplicaciones móviles de salud (*mHealth*), integrados en sistemas de análisis y visualización de datos (Malasinghe et al., 2019). La Figura 1 resume los principales componentes de este ecosistema y su relación con la interpretación clínica.

Los sensores biomédicos constituyen la base tecnológica de muchos de estos sistemas. Un sensor biomédico es un dispositivo capaz de detectar una señal biológica o fisiológica, convertirla en una señal digital cuantificable y, cuando procede, transmitirla para su procesamiento (Bronzino & Peterson, 2018). Su aplicabilidad clínica incluye la adquisición continua o intermitente de parámetros fisiológicos, facilitando modelos de salud más personalizados, preventivos y proactivos (Koydemir & Ozcan, 2018). En el ámbito del dolor, su interés se relaciona con el registro de marcadores asociados a activación autonómica, estrés o carga funcional.

Entre las señales más estudiadas se incluyen la frecuencia cardíaca y la variabilidad de la frecuencia cardíaca, relacionadas con activación autonómica y estrés (Kim et al., 2025); la actividad electrodérmica, utilizada



Figura 1. Ecosistema tecnológico de la monitorización digital del dolor.



para explorar activación simpática y posibles modelos automatizados de detección de episodios dolorosos (Susam et al., 2018); los sensores de movimiento, como acelerómetros y giroscopios, empleados como posibles biomarcadores digitales del impacto funcional en dolor crónico (Dorris et al., 2024); y la electromiografía, especialmente en dolor musculoesquelético. Otras señales, como el electroencefalograma o determinados sensores químicos en saliva y sudor, se encuentran todavía en fases iniciales de validación. La Tabla 1 sintetiza las principales señales monitorizables y su posible utilidad clínica en dolor.

No obstante, ningún marcador fisiológico aislado puede considerarse equivalente a la experiencia subjetiva de dolor. El dolor sigue siendo una vivencia compleja y multidimensional, modulada por factores cognitivos, emocionales y contextuales, por lo que cualquier registro fisiológico debe interpretarse siempre dentro de su contexto clínico.

Los dispositivos portátiles o *wearables* son tecnologías que se llevan sobre el cuerpo y permiten la monitorización continua de parámetros biométricos de forma relativamente no invasiva (Kamei et al., 2022). En salud, estos dispositivos registran variables como la frecuencia cardíaca, la actividad física, el sueño o el gasto energético, aunque su exactitud puede variar según el dispositivo utilizado (Feehan et al., 2018). En pacientes con

Tabla 1. Principales señales fisiológicas y conductuales monitorizables en dolor, utilidad clínica potencial y principales limitaciones.

SEÑAL O VARIABLE	TECNOLOGÍA HABITUAL	UTILIDAD CLÍNICA POTENCIAL EN DOLOR
Frecuencia cardíaca	Sensores cardíacos, pulsómetros o <i>wearables</i>	Puede aportar información indirecta sobre activación fisiológica, respuesta al estrés y cambios asociados a episodios dolorosos
Variabilidad de la frecuencia cardíaca	Sensores cardíacos, bandas torácicas o relojes inteligentes validados	Permite explorar la regulación autonómica y posibles patrones de estrés fisiológico asociados al dolor
Actividad electrodérmica	Sensores de conductancia cutánea y dispositivos portátiles específicos	Puede reflejar activación simpática y se ha utilizado en modelos automatizados de detección de episodios dolorosos
Movimiento y actividad física	Acelerómetros, giroscopios, <i>wearables</i> y teléfonos inteligentes	Permite analizar impacto funcional, niveles de actividad, sedentarismo, variabilidad diaria y relación entre carga física y síntomas
Electromiografía	Electromiografía de superficie y sensores musculares	Puede identificar patrones de activación muscular, sobrecarga o tensión mantenida en dolor musculoesquelético
Electroencefalograma y otras señales neurofisiológicas	Sistemas EEG y dispositivos neurofisiológicos especializados	Interés potencial para investigar correlatos neurofisiológicos del procesamiento del dolor
Sensores químicos	Dispositivos de análisis en saliva, sudor u otros fluidos	Posible detección de biomarcadores relacionados con estrés o procesos fisiológicos asociados al dolor
Datos subjetivos autorreportados	Aplicaciones móviles o diarios digitales	Permiten registrar intensidad, localización, desencadenantes, estado de ánimo e impacto funcional en tiempo real



dolor crónico, pueden resultar útiles para monitorizar niveles de actividad, sedentarismo, calidad del descanso y variaciones funcionales a lo largo del tiempo. Su principal valor no reside en ofrecer una medida directa del dolor, sino en aportar indicadores indirectos que ayuden a relacionar el comportamiento del síntoma con la actividad diaria y la recuperación funcional (Ogawa et al., 2022; Dorris et al., 2024; Ferguson et al., 2022).

Cuando los *wearables* se integran con aplicaciones móviles, facilitan la visualización longitudinal de datos, la retroalimentación al usuario y la generación de informes clínicos. Además, su combinación con modelos predictivos basados en aprendizaje automático comienza a explorarse en el ámbito del dolor, aunque su validación clínica sigue siendo limitada (Koumpouros & Georgoulas, 2023).

Por su parte, las aplicaciones móviles de salud, enmarcadas en el concepto de *mHealth*, se definen como programas diseñados para ejecutarse en dispositivos móviles o en plataformas web adaptadas a estos, con el objetivo de apoyar la práctica médica y la salud pública (WHO, 2011; Steinhubl et al., 2015). Su expansión se ha relacionado con su accesibilidad, escalabilidad y potencial para facilitar la autogestión (Bradway et al., 2017). En enfermedades crónicas, estas herramientas pueden favorecer una mayor implicación del paciente en el manejo de su condición (Najm et al., 2019).

En el ámbito del dolor, las aplicaciones móviles pueden agruparse en tres grandes categorías: aplicaciones orientadas a la educación, aplicaciones centradas en la monitorización y aplicaciones dirigidas al tratamiento digital (Devan et al., 2019; Moman et al., 2019). La Tabla 2 presenta una clasificación funcional de estas aplicaciones y su utilidad clínica principal.

Esta clasificación resulta clínicamente útil porque permite definir el objetivo de la herramienta antes de recomendarla o incorporarla al seguimiento. En conjunto, la monitorización digital del dolor amplía la capacidad de observación clínica al aportar información longitudinal sobre la evolución del paciente fuera del contexto asistencial tradicional. Sin embargo, su valor depende menos del grado de sofisticación tecnológica que de la relevancia clínica de los datos recogidos, de su adecuada interpretación y de su integración en un plan asistencial estructurado.

IDEA CLAVE PARA CLÍNICOS

La monitorización digital no sustituye la valoración clínica ni la experiencia subjetiva del paciente. Su valor reside en aportar información longitudinal que complemente la entrevista y la exploración física, facilitando una toma de decisiones más contextualizada.



Tabla 2. Clasificación funcional de las aplicaciones móviles en dolor según objetivo clínico.

TIPO DE APLICACIÓN	OBJETIVO CLÍNICO PRINCIPAL	CONTENIDOS O FUNCIONES HABITUALES	UTILIDAD CLÍNICA POTENCIAL
Aplicaciones orientadas a la educación	Mejorar la comprensión del dolor y favorecer la alfabetización en salud	Información sobre neurociencia del dolor, autocuidado, hábitos saludables, ergonomía, planificación de actividades, consejos sobre sueño y afrontamiento	Pueden mejorar el conocimiento del paciente sobre su condición, reducir creencias erróneas y favorecer una participación más activa en el proceso terapéutico
Aplicaciones centradas en la monitorización	Registrar de forma estructurada la evolución del dolor y sus variables asociadas	Autorregistro de intensidad, localización, duración, desencadenantes, uso de medicación, estado de ánimo, sueño, actividad diaria o interferencia funcional	Permiten reducir el sesgo de recuerdo, identificar patrones temporales, relacionar síntomas con actividad o descanso y facilitar un seguimiento más longitudinal
Aplicaciones dirigidas al tratamiento digital	Apoyar intervenciones terapéuticas no farmacológicas o multimodales	Ejercicio terapéutico, relajación, terapia cognitivo-conductual, entrenamiento en respiración, programas estructurados, objetivos progresivos y retroalimentación	Pueden favorecer la adherencia terapéutica, apoyar la autogestión y contribuir a mejorar dolor, discapacidad o variables psicosociales cuando están bien diseñadas
Aplicaciones mixtas o integradas	Combinar educación, registro y apoyo terapéutico en una misma herramienta	Módulos educativos, diarios digitales, recordatorios, ejercicios, seguimiento de objetivos, paneles de progreso y alertas básicas	Ofrecen una aproximación más completa y pueden facilitar la continuidad asistencial y la toma de decisiones compartida



TECNOLOGÍAS DISPONIBLES PARA LA MONITORIZACIÓN DIGITAL DEL DOLOR

Las tecnologías empleadas en la monitorización digital del dolor pueden organizarse según su función clínica y su nivel de integración dentro del proceso asistencial. Más que enumerar dispositivos concretos, resulta más útil para el profesional comprender qué tipo de datos recoge cada tecnología, con qué finalidad se utiliza y en qué condiciones puede aportar valor. La Tabla 3 resume las principales tipologías tecnológicas disponibles en monitorización digital del dolor, los datos que recogen y su posible utilidad dentro del seguimiento clínico.

Esta clasificación permite distinguir entre tecnologías orientadas a la recogida pasiva de variables fisiológicas y conductuales, herramientas centradas en el autorregistro estructurado de la experiencia dolorosa, plataformas que integran distintas fuentes de información en una misma interfaz y sistemas avanzados con capacidad analítica o predictiva. Desde el punto de vista clínico, esta diferenciación resulta útil porque ayuda a seleccionar la herramienta en función del objetivo del seguimiento y del grado de integración asistencial disponible.

Entre las tecnologías más utilizadas se encuentran los **dispositivos portátiles de monitorización fisiológica** (*wearables*), que permiten registrar variables como frecuencia cardíaca, variabilidad de la frecuencia cardíaca, conductancia dérmica, sueño o nivel de actividad física; los **sensores específicos biométricos y de movimiento**, especialmente relevantes en dolor musculoesquelético; las **plataformas de monitorización remota del paciente**, que combinan datos procedentes de dispositivos portátiles con información autorreportada; la **monitorización ecológica momentánea mediante *smartphone***, basada en autorregistros en tiempo real; y los **sistemas integrados con análisis predictivo**, que combinan distintas fuentes de datos para detectar patrones o alertas clínicas.

La monitorización ecológica momentánea mediante *smartphone* merece una consideración específica, ya que introduce una diferencia metodológica relevante respecto a la monitorización pasiva mediante sensores. Mientras que los *wearables* registran de forma automática variables fisiológicas o de movimiento, la evaluación ecológica momentánea requiere la participación activa del paciente mediante autorregistro estructurado en el momento en que la experiencia ocurre o en intervalos programados. Ambas estrategias son complementarias: la primera aporta continuidad objetiva y la segunda información subjetiva contextualizada, especialmente útil para reducir el sesgo de recuerdo e identificar variabilidad individual.

Por otra parte, los sistemas integrados con análisis predictivo añaden una dimensión preventiva y proactiva al seguimiento, al permitir combinar datos procedentes de sensores y autorregistros para detectar exacerbaciones, generar alertas tempranas o estimar riesgo de recaída. No obstante, su utilidad clínica depende de la validación externa, de la calidad del dato de entrada y de su inserción en protocolos asistenciales bien definidos.

Tabla 3. Tipologías tecnológicas para la monitorización digital del dolor, datos recogidos y utilidad clínica principal.

TIPO DE TECNOLOGÍA	DATOS QUE RECOGE	UTILIDAD CLÍNICA PRINCIPAL
Dispositivos portátiles de monitorización fisiológica (wearables)	Frecuencia cardíaca, variabilidad de la frecuencia cardíaca, conductancia dérmica, sueño y nivel de actividad física diaria	Permiten seguimiento longitudinal de variables fisiológicas y conductuales potencialmente relacionadas con la evolución del dolor y con la recuperación funcional
Sensores específicos biométricos y análisis del movimiento	Electromiografía de superficie, sensores de postura y carga, acelerometría avanzada, análisis tridimensional del movimiento	Ayudan a detectar patrones motores alterados, asimetrías de carga o activación muscular mantenida, especialmente en dolor musculoesquelético
Plataformas de monitorización remota del paciente	Escalas digitales de intensidad de dolor, PROMs, registro de adherencia terapéutica, indicadores funcionales	Facilitan el seguimiento estructurado y la integración de dimensiones fisiológicas, funcionales y psicosociales en una misma interfaz
Monitorización ecológica momentánea mediante smartphone	Intensidad del dolor en distintos momentos del día, estado de ánimo, nivel de actividad, desencadenantes percibidos, calidad del sueño	Permite registrar la experiencia dolorosa en tiempo real, reducir el sesgo de recuerdo e identificar variabilidad intraindividual y patrones temporales
Sistemas integrados con análisis predictivo	Combinación de datos procedentes de sensores fisiológicos, movimiento y autorregistros	Pueden detectar patrones asociados a exacerbaciones, generar alertas tempranas y estimar riesgo de recaída



Para reforzar la aplicabilidad clínica del apartado, los siguientes ejemplos presentan dos casos en los que la tecnología adquiere valor no por sí misma, sino porque facilita decisiones concretas sobre carga terapéutica, sueño, actividad y autocuidado.



AJUSTE DE CARGA EN DOLOR LUMBAR CRÓNICO

Paciente con lumbalgia crónica recurrente en seguimiento mediante registro digital diario de intensidad de dolor y *wearable* para monitorización de actividad física. Tras varias semanas, se identifica un patrón consistente: los picos de dolor aparecen después de varios días consecutivos con incremento significativo del volumen de actividad. Con esta información se reajusta la progresión de carga y se introducen periodos

estructurados de recuperación, observándose una reducción de las reagudizaciones y una mejor autorregulación por parte del paciente. (basado en Ogawa et al., 2022; Sandal et al., 2021)

Ejemplo clínico

Ejemplo clínico

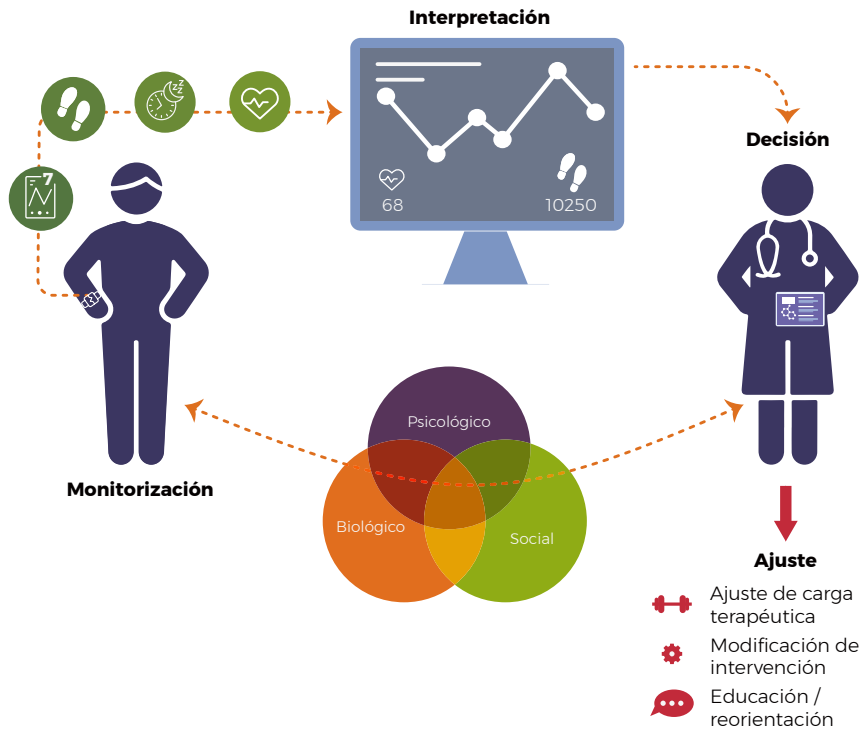
DOLOR GENERALIZADO Y ALTERACIÓN DEL SUEÑO

Paciente con fibromialgia en seguimiento domiciliario mediante *wearable* y registro digital por parte del paciente. El análisis longitudinal muestra disminución mantenida del tiempo total de sueño y aumento de despertares nocturnos en las semanas con mayor intensidad de dolor y fatiga. A partir de estos datos se implementa una intervención centrada en higiene del sueño, regulación de actividad diaria y educación terapéutica, observándose mejora progresiva tanto en la calidad del descanso como en la percepción global de dolor. (basado en Moreno-Ligero et al., 2023; Ferguson et al., 2022)



En conjunto, estas tecnologías no deben entenderse como sistemas destinados a medir de forma objetiva la experiencia dolorosa, sino como herramientas que permiten recoger información longitudinal y contextualizada susceptible de integrarse en la valoración clínica (Figura 2). Su interés radica en la calidad y relevancia de los datos que aportan y en su capacidad para apoyar decisiones terapéuticas dentro de un proceso asistencial estructurado.

Figura 2. Transformación de datos de monitorización digital en decisiones clínicas fundamentadas.



APLICACIONES CLÍNICAS BASADAS EN EVIDENCIA CIENTÍFICA

El desarrollo de sensores biomédicos, dispositivos portátiles y aplicaciones móviles ha ampliado las posibilidades de seguimiento clínico en enfermedades crónicas y ha favorecido modelos de atención más continuos y centrados en el paciente (Cannon, 2018; Weatherly et al., 2024). En el ámbito del dolor, estas tecnologías permiten recoger información fuera



del entorno clínico habitual y aportar una visión más contextualizada de la evolución del paciente, con potencial para mejorar la valoración clínica, el seguimiento y el ajuste de intervenciones (Fan & Zhao, 2022; Weatherly et al., 2024).

Desde una perspectiva práctica, las aplicaciones clínicas de la monitorización digital del dolor pueden organizarse en cuatro grandes ámbitos: evaluación fisiológica complementaria, monitorización funcional y de hábitos, apoyo a intervenciones terapéuticas y seguimiento estructurado del tratamiento.

EVALUACIÓN FISIOLÓGICA COMPLEMENTARIA

Una de las aplicaciones más estudiadas es la exploración de correlatos fisiológicos asociados al dolor. La monitorización de variables como la frecuencia cardíaca, la variabilidad de la frecuencia cardíaca, la conductancia de la piel o la tensión muscular permite analizar respuestas relacionadas con la activación autonómica, el estrés fisiológico o determinados patrones de sobrecarga funcional (Kim et al., 2025; Susam et al., 2018). En este contexto, los sensores biomédicos no ofrecen una medición objetiva del dolor, pero sí pueden aportar información complementaria en situaciones específicas, como programas estructurados de seguimiento, dolor agudo o contextos de investigación clínica.

Asimismo, algunos sistemas permiten integrar estos registros en estrategias de *biofeedback*, de manera que el paciente visualiza en tiempo real determinados parámetros fisiológicos y aprende a modular respuestas de tensión o activación autonómica. Este enfoque puede resultar especialmente útil cuando se incorpora a intervenciones conductuales en pacientes con dolor crónico, sobre todo en presencia de hipervigilancia, tensión muscular mantenida o elevada activación fisiológica.

La integración de sensores de movimiento o electromiografía de superficie también puede contribuir a la evaluación del impacto funcional del dolor musculoesquelético, al permitir cuantificar alteraciones del movimiento, patrones de carga o activación muscular. En paralelo, la combinación multimodal de señales fisiológicas y neurofisiológicas constituye una línea emergente con potencial para refinar la evaluación, aunque su aplicación clínica todavía requiere validación robusta y contextualización con otras dimensiones de la experiencia dolorosa (Khan et al., 2025).

MONITORIZACIÓN FUNCIONAL Y DE HÁBITOS

Los dispositivos portátiles o *wearables* han mostrado especial interés en el análisis longitudinal de actividad física, sedentarismo, sueño y patrones de movimiento. En pacientes con dolor crónico, estos datos pueden ayudar a relacionar el comportamiento del dolor con el nivel

de actividad diaria y con variables de recuperación funcional. Se han descrito asociaciones entre el número de pasos y los niveles de dolor en personas con dolor crónico, lo que sugiere que la monitorización de la actividad puede aportar indicadores útiles para el seguimiento clínico (Ogawa et al., 2022).

Además, revisiones sistemáticas han señalado que los dispositivos de actividad pueden contribuir a mejorar la adherencia y los niveles de movimiento en personas con enfermedades crónicas, especialmente cuando se integran en programas estructurados de seguimiento (Ferguson et al., 2022; Kamei et al., 2022). En dolor musculoesquelético, la combinación de *wearables* con modelos organizados de atención también ha mostrado mejoras en intensidad del dolor y en algunas variables psicosociales, aunque estos efectos dependen del diseño del programa, del acompañamiento profesional y de la adecuación de la herramienta al objetivo clínico (Hayashi et al., 2025).

Los acelerómetros y giroscopios permiten además analizar la calidad del movimiento y el cumplimiento de ejercicios prescritos, lo que puede resultar de utilidad en programas de rehabilitación. Sin embargo, la relevancia clínica de estos datos no depende únicamente de su disponibilidad, sino de su capacidad para traducirse en decisiones terapéuticas concretas.

APOYO A INTERVENCIONES TERAPÉUTICAS

Otra de las aplicaciones más relevantes de la monitorización digital del dolor consiste en apoyar intervenciones de educación, autogestión y tratamiento digital. Las aplicaciones móviles permiten registrar síntomas en tiempo real, reducir el sesgo de recuerdo y ofrecer una visión más dinámica del curso clínico mediante el seguimiento de intensidad, localización, duración, desencadenantes o uso de medicación.

Además, las intervenciones digitales con componentes educativos y de autogestión se han asociado a mejoras en alfabetización en salud, adherencia terapéutica y algunas variables clínicas en enfermedades crónicas (Hamine et al., 2015; Najm et al., 2019). En el ámbito del dolor, revisiones sistemáticas han mostrado que estas herramientas pueden contribuir a mejorar la intensidad del dolor, la discapacidad y la calidad de vida, especialmente en condiciones musculoesqueléticas crónicas, aunque los efectos suelen ser modestos y dependen de la calidad del diseño de la intervención (Moreno-Ligero et al., 2023; Thurnheer et al., 2018).

Del mismo modo, las aplicaciones que integran ejercicio terapéutico, educación estructurada o terapia cognitivo-conductual han mostrado efectos beneficiosos en dolor lumbar crónico y en otras condiciones musculoesqueléticas (Sandal et al., 2021; Zheng et al., 2022; Rintala et al., 2022). Estos resultados sugieren que el beneficio clínico no deriva



únicamente del soporte tecnológico, sino de la calidad del programa terapéutico que la herramienta permite aplicar.

En algunos contextos, también se han desarrollado dispositivos portátiles con función terapéutica, como *wearables* que integran estimulación eléctrica transcutánea (TENS). Su interés reside en la posibilidad de personalizar parámetros, monitorizar el uso y combinar la terapia con plataformas móviles de seguimiento. Sin embargo, la eficacia de estos dispositivos depende del tipo de tecnología, de la indicación clínica concreta y de su integración en protocolos de tratamiento definidos.

SEGUIMIENTO ESTRUCTURADO DEL TRATAMIENTO

La monitorización digital también puede contribuir al seguimiento de tratamientos farmacológicos y no farmacológicos. Algunas aplicaciones permiten registrar el uso de medicación, establecer recordatorios y generar alertas, con potencial para mejorar la adherencia y favorecer un uso más seguro del tratamiento (Dorsch et al., 2017). De forma complementaria, la recogida sistemática de datos sobre dolor, actividad, sueño o estado de ánimo puede facilitar la detección precoz de reagudizaciones, la identificación de barreras al tratamiento y el ajuste más preciso de las cargas terapéuticas.

Este valor resulta especialmente evidente cuando la monitorización se integra en programas estructurados con revisión profesional de los datos y criterios claros de actuación clínica. En este sentido, la evidencia sugiere que los beneficios observados no dependen tanto del dispositivo aislado como del modo en que la herramienta se incorpora al proceso asistencial.

PANORAMA ACTUAL DE LA EVIDENCIA

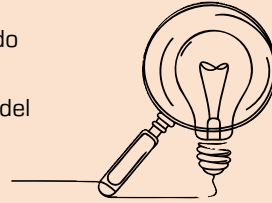
En conjunto, la evidencia disponible sugiere que las intervenciones digitales en dolor pueden producir mejoras en intensidad, funcionalidad, calidad de vida y variables psicosociales, particularmente en dolor musculoesquelético crónico (Moman et al., 2019; Moreno-Ligero et al., 2023). Además, la percepción de seguimiento continuo y apoyo puede contribuir a reducir la sensación de aislamiento y a mejorar la satisfacción del paciente (Hunter et al., 2023).

No obstante, los resultados son heterogéneos y dependen de factores como la selección adecuada de pacientes, la usabilidad de la herramienta, la claridad del objetivo clínico y la integración con seguimiento profesional (Shabir et al., 2022; Weatherly et al., 2024). Desde el punto de vista económico, la monitorización digital puede optimizar recursos y reducir visitas presenciales evitables, aunque estos beneficios varían según el contexto organizativo y el modelo asistencial en el que se implante (De Guzman et al., 2022).

En consecuencia, la utilidad clínica de la monitorización digital del dolor debe interpretarse desde una perspectiva prudente: estas tecnologías pueden mejorar el seguimiento y enriquecer la toma de decisiones, pero su efecto depende menos del dispositivo en sí que del diseño del programa clínico en el que se integran.

IDEA CLAVE PARA CLÍNICOS

La monitorización digital del dolor aporta valor cuando se utiliza para comprender patrones longitudinales y apoyar decisiones clínicas. Su eficacia depende más del diseño del programa y del acompañamiento profesional que del dispositivo en sí.



COMPARACIÓN CON LOS MÉTODOS TRADICIONALES

El seguimiento clínico del dolor se ha basado tradicionalmente en entrevistas presenciales, escalas de autoinforme y evaluaciones funcionales realizadas en consulta. Estas herramientas continúan siendo esenciales, especialmente porque el dolor es, por definición, una experiencia subjetiva. Sin embargo, este modelo presenta limitaciones relacionadas con el carácter puntual de la evaluación y con la dificultad para captar la variabilidad diaria del síntoma.

La monitorización digital aporta una dimensión complementaria al permitir la recogida repetida o continua de datos subjetivos, funcionales y, en algunos casos, fisiológicos, incluso fuera del entorno clínico habitual (Malasinghe et al., 2019; Serrano et al., 2023). Esta capacidad amplía la comprensión longitudinal del dolor y puede facilitar la identificación de patrones, desencadenantes y cambios clínicamente relevantes. La Tabla 4 resume las principales diferencias entre el seguimiento tradicional y la monitorización digital del dolor.

La relevancia de esta comparación no reside en establecer una sustitución entre modelos, sino en comprender que ambos responden a funciones clínicas diferentes. Mientras que la evaluación presencial sigue siendo el marco central para la interpretación clínica, la exploración física y la construcción de la alianza terapéutica, la monitorización digital puede enriquecer el seguimiento al aportar información más frecuente y contextualizada.



Tabla 4. Comparación entre el seguimiento tradicional y la monitorización digital del dolor.

DIMENSIÓN	SEGUIMIENTO TRADICIONAL	MONITORIZACIÓN DIGITAL
Frecuencia de recogida de datos	Puntual, habitualmente vinculada a la consulta	Continua o de alta frecuencia, también fuera del entorno clínico
Dependencia del recuerdo	Alta, basada en memoria retrospectiva	Menor, especialmente con autorregistros frecuentes
Captación de fluctuaciones y patrones temporales	Limitada	Alta
Tipo de información recogida	Principalmente subjetiva y puntual	Subjetiva, funcional y, en algunos casos, fisiológica
Valoración multidimensional	Posible, pero condicionada por el tiempo y el formato de consulta	Favorecida por registros longitudinales de distintos dominios
Participación del paciente	Más centrada en el momento de consulta	Más activa y continuada
Accesibilidad y continuidad asistencial	Más dependiente de la presencialidad	Mayor potencial para seguimiento remoto
Riesgos o limitaciones principales	Menor sensibilidad para detectar variabilidad diaria	Sobrecarga de datos, adherencia variable, brecha digital, hipervigilancia

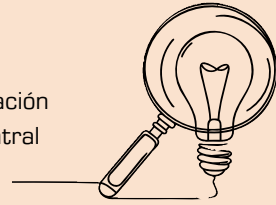
Las recomendaciones del grupo IMMPACT subrayan la necesidad de interpretar los resultados en dolor a partir de múltiples dominios, como la intensidad, la función física, el funcionamiento emocional y la impresión global de cambio (Dworkin et al., 2008). En este contexto, la monitorización digital puede facilitar una evaluación más longitudinal de dichas dimensiones, aunque su utilidad depende de que los datos se integren dentro del razonamiento clínico y no se interpreten de forma aislada.

Desde un punto de vista asistencial, el valor de la monitorización digital tampoco depende exclusivamente de la tecnología, sino de su

capacidad para integrarse en modelos de atención híbridos. En consecuencia, la monitorización digital no debe entenderse como una alternativa al seguimiento clínico tradicional, sino como una herramienta complementaria que puede mejorar la continuidad y la contextualización de la información, siempre que se utilice con objetivos clínicos claros y dentro de un plan asistencial estructurado.

IDEA CLAVE PARA CLÍNICOS

La monitorización digital mejora la continuidad y contextualización de la información, pero la interpretación clínica y la alianza terapéutica siguen siendo el eje central de la atención al paciente con dolor.



BARRERAS Y LIMITACIONES

A pesar del interés creciente y del potencial clínico atribuido a la monitorización digital, su incorporación al manejo del dolor presenta limitaciones relevantes que deben considerarse antes de su implementación sistemática en la práctica asistencial. Estas limitaciones no afectan únicamente al rendimiento técnico de los dispositivos, sino también a la validez clínica de los datos, a la experiencia del paciente y a la viabilidad organizativa de los programas en los que se integran. La Tabla 5 resume las principales barreras y limitaciones de la monitorización digital del dolor, junto con sus implicaciones clínicas y las referencias que las sustentan.

En términos generales, el principal reto no reside en disponer de más datos, sino en garantizar que esos datos sean clínicamente relevantes, fiables, interpretables y útiles para la toma de decisiones. Desde esta perspectiva, la monitorización digital no es una herramienta neutra ni universalmente beneficiosa. Su impacto depende de la selección adecuada del paciente, de la calidad y validación de la tecnología empleada, de la claridad del objetivo clínico y de su integración en un protocolo asistencial definido.

Por ello, las barreras asociadas a la monitorización digital del dolor no deben entenderse como un argumento para descartar su uso, sino como criterios necesarios para orientar una implementación más racional, selectiva y clínicamente justificada.



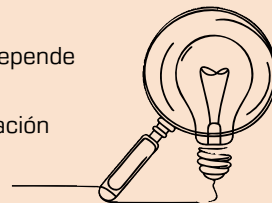
Tabla 5. Principales barreras y limitaciones de la monitorización digital del dolor e implicaciones para la práctica clínica.

BARRERA O LIMITACIÓN	EN QUÉ CONSISTE	IMPLICACIÓN CLÍNICA PRINCIPAL
Heterogeneidad metodológica y falta de estandarización	Existe una elevada variabilidad en los diseños de estudio, los tipos de sensores, las métricas empleadas y las combinaciones tecnológicas, lo que dificulta la comparación entre estudios y limita la interoperabilidad de los datos (Koumpouros & Georgoulas, 2023; Khan et al., 2025)	Limita la generalización de resultados y dificulta trasladar la evidencia a protocolos clínicos consistentes.
Validación clínica insuficiente	Muchos <i>wearables</i> y aplicaciones disponibles no han sido sometidos a procesos rigurosos de validación clínica. En algunos casos, la evidencia procede de estudios piloto, muestras pequeñas o poblaciones poco representativas. Además, la precisión de algunos dispositivos puede disminuir en presencia de movimiento, sudoración, cambios de temperatura o colocación inadecuada (Feehan et al., 2018)	Obliga a interpretar con cautela la precisión y utilidad real de los datos obtenidos
Limitaciones de los biomarcadores digitales	Aunque existen asociaciones entre determinados parámetros fisiológicos y dolor, no existe un biomarcador digital capaz de cuantificar de forma objetiva la experiencia dolorosa. La fusión multimodal de señales constituye una línea prometedora, pero todavía requiere validación clínica robusta antes de su uso generalizado (Khan et al., 2025)	Impide equiparar dato fisiológico y dolor, y exige contextualización clínica permanente
Problemas de usabilidad y adherencia	Dispositivos incómodos, interfaces poco intuitivas o exigencias excesivas de registro pueden reducir el uso sostenido de la herramienta. El diseño centrado en el usuario, la claridad del objetivo clínico y el acompañamiento profesional se consideran factores determinantes para favorecer la adherencia (Shabir et al., 2022)	Disminuye la calidad del seguimiento y aumenta el riesgo de abandono del programa

BARRERA O LIMITACIÓN	EN QUÉ CONSISTE	IMPLICACIÓN CLÍNICA PRINCIPAL
<p>Brecha digital y desigualdades de acceso</p>	<p>No todos los pacientes disponen de dispositivos adecuados ni de competencias digitales suficientes para utilizar estas herramientas de forma continuada (Kruse et al., 2019)</p>	<p>Puede generar inequidad en el acceso y limitar la aplicabilidad en determinados perfiles poblacionales</p>
<p>Regulación sanitaria y clasificación ambigua</p>	<p>Una parte considerable de <i>wearables</i> y aplicaciones se comercializa como dispositivos de bienestar, lo que puede permitirles evitar procesos regulatorios más estrictos</p>	<p>Genera incertidumbre sobre fiabilidad, seguridad e integración formal en la práctica clínica</p>
<p>Privacidad y seguridad de los datos</p>	<p>El almacenamiento en la nube y la transmisión de información sensible plantean cuestiones relacionadas con protección de datos, uso secundario de la información y consentimiento informado (Zhou et al., 2019). En pacientes con dolor crónico también se ha descrito preocupación por la privacidad y por el uso de información personal en entornos digitales (Hunter et al., 2023)</p>	<p>Exige garantías éticas, legales y organizativas antes de incorporar estas herramientas al seguimiento clínico</p>
<p>Riesgo de hipervigilancia corporal</p>	<p>El registro constante puede aumentar la atención al síntoma y reforzar patrones de hipervigilancia, especialmente en pacientes con elevada ansiedad o catastrofismo</p>	<p>Hace necesaria una indicación individualizada y prudente en perfiles vulnerables</p>

IDEA CLAVE PARA CLÍNICOS

La monitorización digital no es neutra. Su impacto depende de la selección adecuada del paciente, la calidad del dispositivo, la claridad del objetivo clínico y su integración en un programa estructurado. Sin estos elementos, puede generar más datos que valor clínico.





MODELO INTEGRADOR

La monitorización digital del dolor puede entenderse como un sistema clínico-tecnológico compuesto por varios niveles interrelacionados, en el que la tecnología no actúa de forma aislada, sino integrada dentro del razonamiento clínico. Este enfoque permite organizar la información procedente de sensores biomédicos, *wearables* y aplicaciones móviles en una secuencia que va desde la captura de datos hasta su posible impacto terapéutico. La Figura 3 resume este modelo integrador y los principales factores que modulan su valor clínico (Malasinghe et al., 2019; Koumpouros & Georgoulas, 2023; Khan et al., 2025).

Figura 3. Modelo integrador de la monitorización digital del dolor.



En un primer nivel, la monitorización digital permite la **captura de datos objetivos y subjetivos** relacionados con la experiencia dolorosa. Entre ellos se incluyen variables fisiológicas, como la frecuencia cardíaca, la variabilidad de la frecuencia cardíaca, la actividad electrodérmica o la electromiografía; variables conductuales, como la actividad física, el sueño o los patrones de movimiento; y datos autorreportados, como la intensidad del dolor, su localización, los desencadenantes o el estado de ánimo. La utilidad de esta fase no depende de la cantidad de información recogida, sino de su relevancia clínica, su consistencia y su adecuación al objetivo del seguimiento.

En un segundo nivel, estos **datos se procesan, estructuran y visualizan** mediante plataformas digitales, paneles de control, gráficos longitudinales, sistemas de alertas básicas o integración con registros clínicos electrónicos. En esta fase, la tecnología organiza la información y facilita su lectura, pero todavía no genera por sí misma una decisión clínica. Aunque algunos sistemas incorporan modelos predictivos o herramientas basadas en inteligencia artificial, su utilidad asistencial sigue dependiendo de la calidad del dato de entrada y de su validación en contextos clínicos reales (Koumpouros & Georgoulas, 2023; Khan et al., 2025).

El tercer nivel corresponde a la **interpretación clínica**, que constituye el núcleo del modelo. Los datos longitudinales solo adquieren valor cuando se integran con la entrevista clínica, la exploración física y el contexto biopsicosocial del paciente. Esta integración permite identificar patrones temporales, posibles desencadenantes, variabilidad del dolor e impacto funcional real, pero la decisión continúa siendo clínica. En este sentido, la monitorización digital amplía la información disponible, aunque no sustituye el juicio profesional ni la relación terapéutica.

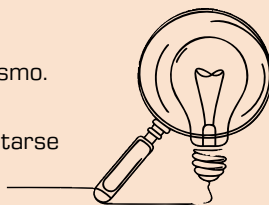
Por último, cuando el sistema se integra de forma adecuada en un **programa asistencial estructurado**, puede contribuir a mejorar la comprensión del curso del dolor, favorecer la adherencia al ejercicio y al autocuidado, facilitar ajustes terapéuticos más individualizados, detectar recaídas de manera más precoz y reducir visitas innecesarias. No obstante, este posible impacto terapéutico depende de varios factores transversales, entre ellos la calidad y validación del dispositivo, la usabilidad y adherencia del paciente, la privacidad y seguridad de los datos y la existencia de un protocolo clínico definido. Si alguno de estos elementos falla, el valor clínico global del sistema puede verse comprometido.

En consecuencia, la monitorización digital del dolor no debe entenderse como un fin en sí mismo, sino como una herramienta de apoyo a la toma de decisiones basada en patrones longitudinales que solo adquieren significado cuando se interpretan dentro del razonamiento clínico.



IDEA CLAVE DEL MODELO

La monitorización digital del dolor no es un fin en sí mismo. Es una herramienta de apoyo a la toma de decisiones basada en patrones longitudinales que deben interpretarse dentro del razonamiento clínico.



CRITERIOS PRÁCTICOS PARA EL CLÍNICO

La incorporación de herramientas de monitorización digital en el manejo del dolor debe responder a una necesidad clínica concreta y no a la simple disponibilidad tecnológica. Su valor depende de cómo se integre en el proceso asistencial. Para facilitar su uso racional, pueden considerarse ciertos criterios (Figura 4).

Figura 4. Criterios de selección de herramientas de monitorización digital del dolor.



1. DEFINIR LA PREGUNTA CLÍNICA ANTES DE ELEGIR LA HERRAMIENTA

Antes de seleccionar un dispositivo, sensor o aplicación, resulta imprescindible delimitar con claridad qué se desea monitorizar y con qué finalidad clínica. Esta es la decisión que debe orientar todo el proceso posterior. No se trata de incorporar tecnología porque esté disponible, sino de identificar si su uso puede ayudar a responder una pregunta relevante para la valoración, el seguimiento o la toma de decisiones terapéuticas.

Entre los objetivos más habituales pueden encontrarse la valoración de la variabilidad diaria del dolor, la relación entre actividad física y síntomas, la adherencia al ejercicio terapéutico, la calidad y regularidad del sueño o la detección precoz de reagudizaciones. En todos los casos, la herramienta debe ajustarse al objetivo terapéutico planteado, y no al contrario. Cuando esta secuencia se invierte, existe el riesgo de generar registros abundantes, pero poco útiles desde el punto de vista clínico.

2. SELECCIONAR VARIABLES RELEVANTES Y MANEJABLES

La utilidad de la monitorización digital no depende de acumular un gran volumen de datos, sino de registrar variables que sean pertinentes, comprensibles y clínicamente interpretables. En la práctica, suele ser más útil monitorizar un número reducido de indicadores bien definidos que recoger múltiples parámetros cuya interpretación posterior resulte confusa o poco operativa.

Además, el paciente debe comprender qué información se está recogiendo y por qué motivo, ya que esta comprensión favorece la adherencia y mejora el sentido clínico del proceso de monitorización. Conviene recordar que el dato aislado rara vez tiene valor por sí mismo; su interés aparece cuando puede analizarse longitudinalmente y compararse con el patrón basal individual del paciente. Por ello, la selección de variables debe buscar un equilibrio entre relevancia clínica, viabilidad de registro y facilidad de interpretación.

3. INTEGRAR LOS DATOS EN EL RAZONAMIENTO CLÍNICO

La monitorización digital no sustituye a la entrevista clínica ni a la exploración física, sino que debe integrarse con ambas dentro de una valoración más amplia del paciente. Los datos obtenidos solo adquieren verdadero significado cuando se interpretan a la luz del contexto biopsicosocial, de la evolución clínica y de los objetivos terapéuticos establecidos.

Para que esta integración sea efectiva, resulta recomendable definir previamente con qué frecuencia se revisarán los registros, qué cambios se considerarán clínicamente relevantes y qué decisiones podrían modificarse a partir de la información obtenida. Sin este marco previo, la



tecnología corre el riesgo de convertirse en un sistema de recogida pasiva de datos sin impacto real sobre el manejo clínico. En consecuencia, el valor de la monitorización no depende únicamente de la calidad del registro, sino de su capacidad para incorporarse de manera explícita al proceso de razonamiento y decisión clínica.

4. INDIVIDUALIZAR LA INDICACIÓN

No todos los pacientes se benefician de la misma manera de la monitorización digital continua. Aunque en algunos casos puede favorecer el seguimiento, la autorregulación y la detección de cambios clínicos relevantes, en otros puede resultar innecesaria o incluso contraproducente. Determinados perfiles, como pacientes con elevada ansiedad, tendencia a la hipervigilancia o excesiva focalización en los síntomas, pueden experimentar un refuerzo no deseado de la atención constante al dolor cuando el registro se realiza de forma intensiva.

Por ello, la indicación debe individualizarse y considerar factores como la competencia digital, la motivación, el perfil psicológico, la capacidad de adherencia y la existencia de un objetivo terapéutico concreto. La decisión de monitorizar no debería basarse exclusivamente en la disponibilidad de la herramienta, sino en la probabilidad real de que su uso aporte valor clínico sin incrementar la carga del paciente ni interferir negativamente en su proceso de recuperación.

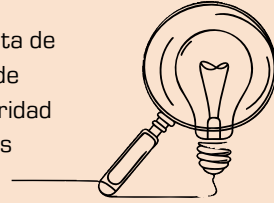
5. PRIORIZAR PROGRAMAS ESTRUCTURADOS FRENTE A DISPOSITIVOS AISLADOS

La evidencia disponible sugiere que los mejores resultados no suelen obtenerse a partir del uso aislado de dispositivos o aplicaciones, sino cuando la monitorización digital se integra en programas estructurados con acompañamiento profesional. La simple recogida de datos, por sí sola, raramente produce cambios clínicamente relevantes si no existe un proceso posterior de interpretación, retroalimentación y ajuste terapéutico.

En este sentido, el dispositivo debe entenderse como una herramienta al servicio de una estrategia clínica más amplia. Su utilidad aumenta cuando forma parte de un plan terapéutico bien definido, con objetivos concretos, criterios de revisión y una participación activa del profesional sanitario. De este modo, la monitorización deja de ser un elemento accesorio y pasa a constituir un apoyo real para el seguimiento, la comunicación clínica y la toma de decisiones compartida.

IDEA CLAVE PARA CLÍNICOS

La monitorización digital del dolor es una herramienta de apoyo a la toma de decisiones. Su utilidad no depende del grado de sofisticación tecnológica, sino de la claridad del objetivo clínico y de la capacidad para traducir los datos en acciones terapéuticas concretas.



CONCLUSIÓN

La monitorización digital del dolor no constituye por sí misma un cambio de paradigma. Su principal aportación reside en la posibilidad de disponer de información longitudinal que complemente la evaluación clínica tradicional y permita comprender con mayor precisión la evolución del paciente a lo largo del tiempo. En el dolor, donde la variabilidad es frecuente y la experiencia es profundamente subjetiva, la recogida estructurada de datos puede ayudar a:

- identificar patrones no detectables en una consulta puntual,
- ajustar con mayor precisión las cargas terapéuticas,
- detectar precozmente posibles reagudizaciones,
- mejorar la adherencia al tratamiento y
- favorecer una participación más activa del paciente en su proceso de recuperación.

No obstante, su utilidad clínica no depende del grado de sofisticación tecnológica, sino de la claridad del objetivo clínico, de la selección de variables relevantes y de su integración en un plan terapéutico estructurado. Aunque sensores, *wearables* y aplicaciones móviles pueden aportar información fisiológica, conductual y autorreportada, ninguna tecnología sustituye la naturaleza subjetiva y multidimensional del dolor ni puede reemplazar la entrevista clínica, la exploración física o el razonamiento profesional.

Además, su implementación debe contemplar con prudencia limitaciones importantes, como la heterogeneidad metodológica, la validación clínica insuficiente de muchos dispositivos, los problemas de usabilidad y adherencia, la brecha digital, la privacidad de los datos y el posible riesgo de hipervigilancia corporal en algunos pacientes. Por ello, el dato no tiene valor por sí solo: el dato necesita interpretación y la interpretación necesita contexto.

En este sentido, el futuro de la monitorización digital en dolor dependerá menos de sensores más complejos o algoritmos más avanzados

que de su integración prudente en modelos híbridos de atención, donde la tecnología amplíe la capacidad del clínico sin desplazar su papel central. Desde esta perspectiva, la monitorización digital debe entenderse como una herramienta de apoyo al razonamiento clínico y no como un fin en sí misma. •

Realidad extendida • 106

Realidad virtual • 107

Realidad aumentada • 109

Realidad mixta • 109

Videojuegos convencionales y realidad extendida • 109

La presencia como elemento terapéutico • 110

Fundamentos neurocientíficos de la realidad extendida en el manejo del dolor • 112

Distracción atencional: competir por los recursos cognitivos • 113

Regulación afectivo-motivacional • 114

Neuroplasticidad y reorganización cerebral • 115

Embodiment y sentido de agencia • 117

Evidencia clínica y neurofuncional • 117

Un modelo integrador de los mecanismos de acción de la realidad extendida en el dolor • 118

Niveles temporales y funcionales • 118

Un modelo en capas: de la atención al cerebro reorganizado • 119

Contraindicaciones • 123

Efectos adversos: *cybersickness* • 124

Dosis en realidad extendida para el manejo del dolor • 124

Dosis según contexto clínico • 125

Factores que modulan la dosis efectiva • 127

Implementación clínica de la realidad extendida en el manejo del dolor • 128

Atención primaria: de la teoría a la práctica comunitaria • 129

Hospital y ámbito perioperatorio • 129

Unidades del Dolor: complemento no farmacológico • 130

Factores que determinan el éxito de implementación en el sistema • 131

Lección principal de la implementación clínica • 131

Cómo elegir e integrar la realidad extendida en la práctica clínica • 131

¿Qué dispositivo es realmente necesario? • 131

Elegir el contenido según el objetivo terapéutico • 132

Barreras reales que deben anticiparse en consulta • 133

Un modelo práctico de introducción en consulta • 134

Retos actuales y perspectivas futuras de la realidad extendida en el manejo del dolor • 136

Retos científicos y clínicos • 136

Integración con inteligencia artificial y *biofeedback* • 137

Modelos híbridos asistenciales • 137

Formación del profesional • 137

El equilibrio entre innovación y prudencia • 137

Conclusión • 138



REALIDAD EXTENDIDA EN EL MANEJO DEL DOLOR

Marta Matamala-Gómez, José Ferrer Costa,
Javier Guerra Armas y Héctor Beltrán Alacreu

OBJETIVO PRINCIPAL

Comprender cómo las tecnologías de realidad extendida (realidad virtual, realidad aumentada y realidad mixta) pueden utilizarse como herramientas terapéuticas en el manejo del dolor, revisando su base neurocientífica, la evidencia clínica disponible y sus aplicaciones reales en la práctica sanitaria.

OBJETIVOS SECUNDARIOS

- Diferenciar con claridad entre la realidad extendida, la virtual, la aumentada y la mixta.
- Explicar de manera sencilla cómo estas tecnologías pueden influir en la percepción y la modulación del dolor.
- Analizar cómo integrar la realidad extendida en la valoración, tratamiento y seguimiento de pacientes con dolor agudo y crónico dentro de la práctica clínica habitual.

Matamala-Gómez, M., Ferrer Costa, J., Guerra Armas, J. y Beltrán Alacreu, H. (2026). Realidad extendida en el manejo del dolor. En H. Beltrán Alacreu y J. A. Moral Muñoz (eds.), *Salud digital y dolor. Guía para profesionales 2026* (pp. 104–139). Editorial de la SED.

REALIDAD EXTENDIDA

En los últimos años, las denominadas tecnologías inmersivas han experimentado una expansión notable, trascendiendo el ámbito del ocio y la educación para integrarse progresivamente en el entorno sanitario. Bajo el término paraguas de **realidad extendida** se agrupan tres modalidades principales: la **realidad virtual**, la **realidad aumentada** y la **realidad mixta** (Figura 1). No se trata de una tecnología única, sino de un conjunto de herramientas digitales capaces de combinar, en distintos grados, el entorno físico con elementos virtuales, configurando un continuo entre realidad y virtualidad (Skarbez et al., 2021).



Figura 1. Continuo de tecnologías de realidad extendida.

El interés por la realidad extendida en el ámbito sanitario ha aumentado de forma significativa en la última década, impulsado en gran parte por la mejora tecnológica y la reducción de costes de los dispositivos. Sin embargo, su aplicación no se limita exclusivamente a la medicina. Desde una perspectiva más integradora, resulta más apropiado hablar de **realidad extendida en ciencias de la salud**, ya que estas tecnologías se emplean de manera transversal en distintas disciplinas de rehabilitación como la fisioterapia, la enfermería, la psicología o la terapia ocupacional (Beltrán Alacreu, 2024). Esta visión multidisciplinar ha sido respaldada recientemente por propuestas taxonómicas que definen el campo de la *Medical Extended Reality* como un ecosistema amplio, que abarca aplicaciones clínicas, educativas y tecnológicas en múltiples especialidades sanitarias (Spiegel et al., 2024).

Entre las diferentes áreas de aplicación, el manejo del dolor ha emergido como uno de los campos con mayor desarrollo y consolidación



científica. La realidad extendida se ha posicionado como una intervención no farmacológica prometedora tanto en el dolor agudo como en el dolor crónico, integrándose en modelos de abordaje multimodal (Wang et al., 2025). La evidencia disponible sugiere efectos positivos significativos no solo en la reducción de la intensidad del dolor, sino también en variables funcionales y psicosociales relevantes, como la discapacidad, la amplitud de movimiento, el miedo al movimiento, el afecto negativo, la fatiga y la ansiedad (Baker et al., 2022; Goudman et al., 2022). Este creciente cuerpo de evidencia plantea una cuestión clave para el profesional sanitario: comprender no solo qué es la realidad extendida, sino cómo puede integrarse de forma coherente y fundamentada en la práctica clínica diaria dentro de los modelos actuales de tratamiento del dolor.

REALIDAD VIRTUAL

Aunque la definición de realidad virtual ha evolucionado con el avance tecnológico y todavía no existe un consenso absoluto (Abbas et al., 2023), en términos prácticos se refiere a experiencias digitales simuladas que estimulan de forma intencionada varios sentidos del usuario, principalmente la visión y el oído, pero también el tacto o la propiocepción. Mediante el uso de un casco o gafas específicas, la persona queda completamente inmersa en un entorno digital que sustituye la realidad física: el mundo exterior desaparece del campo visual y es reemplazado por un escenario virtual diseñado para provocar una experiencia concreta, ya sea de relajación, entrenamiento motor, exposición emocional o modulación del dolor. En este espacio, el usuario puede experimentar la sensación subjetiva de encontrarse en un paisaje natural, en una sala de entrenamiento clínico o en cualquier entorno diseñado con fines terapéuticos.



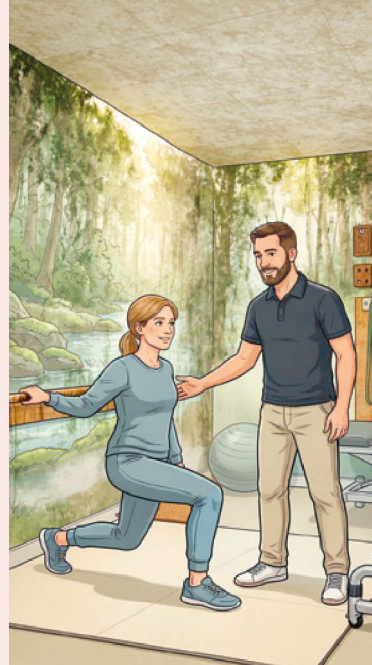
En una unidad de quemados, el paciente puede sumergirse en un entorno virtual nevado mientras se realizan las curas. Al dirigir su atención hacia el entorno virtual, el foco atencional se desvía de la experiencia nociceptiva, lo que contribuye a una reducción significativa de la percepción dolorosa (Hoffman et al., 2000).

Ejemplo clínico

A diferencia de los sistemas basados en gafas de realidad virtual, la realidad inmersiva a través de proyección envolvente, también conocida como sistema tipo *CAVE* (*Computer Assisted Virtual Environment*), permite transformar el entorno físico sin necesidad de dispositivos individuales. Mediante el uso de pantallas o proyectores de gran angular y software de calibración, las paredes y techo de una sala de tratamiento se convierten en una ventana a un escenario virtual inmersivo.

Ejemplo clínico

En el tratamiento del dolor crónico o neuropático, se puede transformar la sala de fisioterapia en un entorno natural relajante que reduzca los niveles de ansiedad basal del paciente. En este entorno seguro y visualmente estimulante, el terapeuta puede guiar ejercicios de movilidad funcional. Al disminuir el miedo al movimiento mediante la distracción inmersiva y la regulación emocional, el paciente logra rangos de movimiento mayores con una menor percepción subjetiva del dolor.



Esta modalidad elimina la barrera física del dispositivo visual, permitiendo sesiones grupales y que el paciente mantenga el contacto visual con el terapeuta y sus propios referentes corporales. Esto no solo reduce drásticamente el riesgo de *cybersickness*, sino que facilita una experiencia de “presencia social” compartida, clave en procesos de acompañamiento clínico, y aumenta la accesibilidad para personas y colectivos que no toleran bien los dispositivos de realidad virtual.



REALIDAD AUMENTADA

A diferencia de la realidad virtual, la realidad aumentada no sustituye el entorno físico. El usuario continúa viendo el mundo real, complementado con información digital superpuesta a través de la cámara de un móvil, una tableta o dispositivos específicos como las HoloLens. Mediante esta superposición, objetos virtuales, textos o modelos tridimensionales se integran visualmente en el espacio físico, ampliando la comprensión del entorno o guiando la intervención clínica sin desplazar la percepción de la realidad.



En fisioterapia, un paciente con dolor lumbar puede visualizar, a través de una tablet, la proyección digital de su musculatura o de un modelo anatómico en 3D superpuesto a su cuerpo. Esta visualización facilita la educación terapéutica, mejora la comprensión del problema y puede aumentar la adherencia al ejercicio prescrito.

Ejemplo clínico

REALIDAD MIXTA

La realidad mixta representa un nivel de integración superior al de la realidad aumentada. En este caso, los elementos digitales no solo se superponen al entorno físico, sino que interactúan con él de manera coherente y bidireccional: los objetos virtuales se anclan al espacio real, responden a la disposición del entorno y se adaptan dinámicamente al movimiento del usuario, de modo que es posible interactuar con ellos como si formaran parte del espacio físico.

VIDEOJUEGOS CONVENCIONALES Y REALIDAD EXTENDIDA

Un videojuego tradicional en 2D o 3D jugado en una pantalla plana (móvil, tableta, PC o consola) no se considera realidad extendida en sentido estricto. Aunque pueda ser interactivo y tridimensional, el usuario no está inmerso ni se integran elementos virtuales con el entorno físico. Solo cuando existe superposición contextual sobre el mundo real, como en aplicaciones tipo Pokémon GO o herramientas de visualización como Google Lens, puede hablarse de realidad extendida. Esta distinción tiene

relevancia clínica directa, ya que no todos los videojuegos generan el mismo nivel de implicación perceptiva ni producen los mismos efectos terapéuticos. Por lo tanto, la elección de la herramienta debe responder siempre a criterios de indicación explícitos y no a la mera interactividad del dispositivo.

Ejemplo clínico



En rehabilitación motora tras un ictus, un paciente puede visualizar una pelota virtual dentro de su habitación y recibir la instrucción de alcanzarla. La pelota responde al movimiento real del paciente, puede desplazarse, caer o incluso “chocar” con una mesa física. Esta interacción verosímil aumenta la motivación y favorece el reaprendizaje motor al integrar acción real y respuesta digital coherente.

LA PRESENCIA COMO ELEMENTO TERAPÉUTICO

Más allá del dispositivo utilizado, el verdadero elemento diferencial de estas tecnologías es su capacidad para generar presencia, entendida como la experiencia subjetiva de «estar allí» dentro del entorno virtual o aumentado, aunque la persona sea consciente de que se trata de una simulación. No es una ilusión meramente cognitiva, sino una respuesta perceptiva y emocional integrada. En el contexto sanitario, este fenómeno es especialmente relevante: cuando un paciente siente que está realmente en otro lugar, su atención, sus emociones y sus respuestas fisiológicas se modifican, independientemente de la calidad gráfica del entorno. En el ámbito del dolor, se ha demostrado que la presencia en un entorno de realidad virtual inmersiva puede inducir una reducción de la sensibilidad al dolor superior a la obtenida en condiciones no inmersivas o mediante imaginación guiada (Tesarz et al., 2024).

Factores que potencian la presencia

La literatura identifica varios factores que amplifican esta experiencia (Figura 2).



Figura 2. Factores que amplifican la presencia en realidad extendida y contribuyen a su efecto terapéutico.

Presencia: un factor hipoalgésico

Uno de los aspectos más relevantes para el manejo del dolor es la denominada **presencia transportada**, que permite la ilusión perceptiva de sentirse realmente dentro del entorno virtual (Guerra-Armas et al., 2023). Cuanto más inmersivo es el sistema de realidad extendida, mayor es esa sensación de presencia y, con ella, el efecto de distracción del dolor durante la intervención, lo que induce una respuesta hipoalgésica en el paciente. No obstante, para aislar la contribución específica de la presencia transportada en esta hipoalgesia, son necesarios diseños experimentales rigurosos capaces de discriminar entre efectos atencionales, emocionales y corporales.



Una paciente que experimenta una fuerte sensación de estar en una playa virtual mientras su fisioterapeuta-avata le guía durante el ejercicio no solo se distrae del dolor, sino que también percibe apoyo y acompañamiento, lo que puede potenciar el efecto analgésico y mejorar la adherencia al tratamiento.

Ejemplo clínico



Figura 3. Dimensiones de la presencia en realidad extendida.

En el entorno clínico, la presencia puede adoptar dos dimensiones complementarias (Figura 3). La **presencia física** hace referencia a la sensación de estar dentro del entorno virtual y la **presencia social**, a la percepción de compartir ese entorno con otro agente, ya sea un terapeuta-avatar o un guía virtual. Cuando ambas se combinan, los estímulos virtuales se vuelven más creíbles y clínicamente más eficaces: la presencia física facilita la distracción y la modulación del dolor, mientras que la presencia social introduce un componente relacional que potencia la adherencia terapéutica y la experiencia de acompañamiento.

FUNDAMENTOS NEUROCIENTÍFICOS DE LA REALIDAD EXTENDIDA EN EL MANEJO DEL DOLOR

El dolor no es simplemente una señal que viaja desde el tejido dañado hasta el sistema nervioso central, sino una experiencia compleja y multi-dimensional modulada por componentes sensoriales, afectivos, cognitivos



y motores. En términos clásicos se distinguen al menos cuatro dimensiones: sensorial-discriminativa, motivacional-afectiva, cognitivo-evaluativa y motora. La realidad extendida actúa precisamente sobre esta multidimensionalidad, ofreciendo una herramienta capaz de modificar cómo el paciente experimenta, interpreta y responde al dolor (Malloy & Milling, 2010; Pourmand et al., 2018).

Desde la activación nociceptiva periférica hasta la percepción consciente del dolor intervienen múltiples sistemas moduladores endógenos, distribuidos en redes corticales y subcorticales que operan en distintos niveles espaciales y temporales. Esta complejidad convierte a la modulación endógena del dolor en una diana terapéutica especialmente interesante para la realidad extendida. Aunque se han propuesto diversos mecanismos para explicar la hipoalgesia inducida por estas tecnologías, las dos hipótesis más respaldadas en la literatura son la **distracción atencional**, con un efecto predominantemente a corto plazo, y la **neuroplasticidad**, con un efecto potencial a medio y largo plazo (Mallari et al., 2019; Medina et al., 2024).

DISTRACCIÓN ATENCIONAL: COMPETIR POR LOS RECURSOS COGNITIVOS

La distracción es el mecanismo más estudiado en realidad extendida aplicada al dolor. La atención desempeña un papel central en la experiencia dolorosa: el procesamiento cerebral de las señales nociceptivas requiere recursos atencionales y, dado que la capacidad atencional es limitada, un estímulo doloroso se percibe como menos intenso cuando la atención se dirige hacia otros estímulos (Legrain et al., 2009). Cuando un paciente se sumerge en un entorno virtual atractivo (un paisaje nevado, una playa, un videojuego interactivo), su atención se desvía hacia estímulos visuales, auditivos, táctiles y cognitivos que compiten con la señal nociceptiva. En clínica, este principio ha sido ampliamente utilizado en curas dolorosas, procedimientos invasivos, cirugías menores y procedimientos pediátricos, con reducciones significativas del dolor documentadas desde los trabajos pioneros de Hoffman en pacientes con quemaduras (Hoffman et al., 2011) y confirmadas por revisiones sistemáticas recientes (Dreesmann et al., 2022; Teh et al., 2024).

Estudios con neuroimagen han explorado los correlatos cerebrales de esta hipoalgesia. Gold y colaboradores propusieron que la realidad extendida modula la actividad entre redes de la matriz del dolor a través de la atención, la emoción, la memoria y la integración multisensorial (Gold et al., 2007), mientras que Hoffman demostró reducciones en la activación de áreas clásicas del procesamiento del dolor ante estímulos térmicos nocivos durante el uso de realidad virtual (Hoffman et al., 2001).

Se han observado cambios en la sustancia gris periacueductal, el córtex cingulado anterior y el córtex orbitofrontal, regiones que participan en mecanismos *bottom-up* y *top-down* de procesamiento nociceptivo, aunque debe manejarse con cautela la interpretación causal, ya que muchas de estas áreas también responden a estímulos no dolorosos y a estados atencionales o emocionales (Becerra et al., 1999; Casey et al., 1996).

La distracción parece especialmente eficaz en dolor agudo y a corto plazo, mientras que en dolor crónico o a medio plazo los resultados son menos consistentes (Malloy et al., 2010; Van Ryckeghem et al., 2018). Además, algunos estudios sugieren que los efectos hipoalgésicos no pueden explicarse exclusivamente por distracción (Barcatta et al., 2022), y que la realidad extendida puede aumentar los umbrales de dolor y mejorar la modulación condicionada, lo que apunta a la activación de vías descendentes inhibitoras más allá del simple desvío atencional (Tesarz et al., 2024). Esto señala la coexistencia de múltiples mecanismos moduladores que se desarrollan en los apartados siguientes.

Ejemplo clínico



Durante una cura dolorosa en pediatría, un entorno virtual interactivo genera un “efecto túnel” atencional. El niño centra sus recursos en atrapar peces en un río virtual, reduciendo la percepción del dolor del procedimiento (Gold & Mahrer, 2018).

REGULACIÓN AFECTIVO-MOTIVACIONAL

El dolor no es solo sensorial, también es emocional. La realidad extendida permite crear entornos que influyen directamente en la regulación emocional, modificando la dimensión afectivo-motivacional del dolor. La exposición a entornos naturales se ha asociado con reducción del estrés, disminución del cortisol, aumento del tono parasimpático y mejora del estado de ánimo (Hartig et al., 2014), efectos especialmente relevantes en contextos hospitalarios como la UCI, las unidades de quemados o el postoperatorio (Hoffman et al., 2001, 2011). Estudios en realidad extendida muestran que entornos más divertidos o motivadores aumentan la tolerancia al dolor mediante



mecanismos de regulación autonómica y afectiva (Colloca et al., 2020). Otros estudios llevados a cabo en salas inmersivas demuestran que estas técnicas son un buen recurso para la reducción de la ansiedad (Yuguero et al., 2026). No obstante, existe debate sobre la separación estricta entre redes sensoriales y afectivas del dolor, dado que la experiencia dolorosa es una construcción integrada (Bushnell et al., 2013).

La **gamificación** ha sido una de las estrategias más utilizadas para potenciar este componente motivacional. En dolor lumbar crónico, intervenciones gamificadas basadas en actividad graduada mostraron reducciones significativas del dolor (MacIntyre et al., 2023), y en población pediátrica la realidad extendida gamificada redujo la ansiedad preoperatoria y mejoró el cumplimiento anestésico (Ryu et al., 2018). En términos generales, la gamificación incrementa la adherencia y los recursos atencionales, mejora la satisfacción del paciente y reduce la percepción de fatiga durante la intervención (Guerra-Armas et al., 2023).

La realidad extendida permite integrar educación en neurociencia del dolor (pain neuroscience education, PNE) y entrenamiento en habilidades psicológicas dentro de experiencias inmersivas, ampliando su efecto más allá de la distracción puntual. En estos entornos, se trabajan de forma activa estrategias de autorregulación, como la reorientación atencional, la reconstrucción cognitiva del dolor, la exposición gradual al movimiento y técnicas de regulación emocional (p. ej., respiración guiada o mindfulness).

Programas domiciliarios basados en este enfoque han mostrado reducciones significativas en dolor e interferencia funcional (García et al., 2021), con efectos mantenidos en el seguimiento (Maddox et al., 2024; McConnell et al., 2024). Además, se han observado mejoras en variables psicológicas relevantes como ansiedad, calidad del sueño, estado de ánimo y autoeficacia (Baydoun et al., 2024; Colloca et al., 2025; Provan et al., 2025), lo que sugiere que la realidad extendida no solo facilita la adquisición de conocimiento, sino que potencia procesos de regulación emocional y cognitiva implicados en la experiencia del dolor.

NEUROPLASTICIDAD Y REORGANIZACIÓN CEREBRAL

Más allá del efecto inmediato de la distracción, la realidad extendida se ha asociado a cambios funcionales en el sistema nervioso mediante neuroplasticidad. La exposición repetida y el entrenamiento estructurado en entornos virtuales pueden favorecer nuevas conexiones neuronales y la

reorganización de redes cerebrales implicadas en la percepción corporal, el control motor y la modulación del dolor, una vía especialmente relevante en el dolor crónico, donde no solo se altera la sensibilidad, sino también la forma en que el cerebro representa el cuerpo y el significado de las señales somáticas. Conviene precisar, no obstante, que cuando se habla de cambios neuroplásticos en este contexto se hace referencia principalmente a modificaciones funcionales en la actividad y conectividad de redes cerebrales, observadas mediante resonancia magnética funcional o electroencefalografía, más que a cambios estructurales anatómicos demostrados de forma directa. La mayoría de la evidencia en intervenciones no farmacológicas describe cambios en patrones de activación y conectividad cuya relación causal con la mejoría clínica aún requiere estudios longitudinales robustos (Medina et al., 2024; Čeko et al., 2024).

En múltiples síndromes de dolor crónico se han descrito alteraciones en la representación corporal y cambios funcionales en redes sensorimotoras. En algunos casos, como el dolor de miembro fantasma, la reorganización cortical tras una lesión puede contribuir al mantenimiento del dolor. La representación corporal, sin embargo, no es una copia exacta del cuerpo físico, sino una construcción dinámica del sistema nervioso: distorsiones leves o sesgos perceptivos pueden aparecer incluso en individuos sanos, aunque de forma atenuada (Matamala-Gomez et al., 2021b), y la cronificación del dolor suele acompañarse de una percepción distorsionada de la parte corporal afectada, con cambios en su representación cortical (Senkowski & Heinz, 2016). Se ha sugerido que estos fenómenos pueden estar relacionados con la interacción entre la red neuronal por defecto (implicada en la representación interna del «yo» y del cuerpo) y las redes somatosensoriales, contribuyendo a patrones persistentes de procesamiento que favorecen la cronificación (de Ridder et al., 2022). Esta plasticidad de la representación corporal constituye, por tanto, una posible diana terapéutica, con especial participación del córtex parietal inferior, implicado en la integración cinestésica.

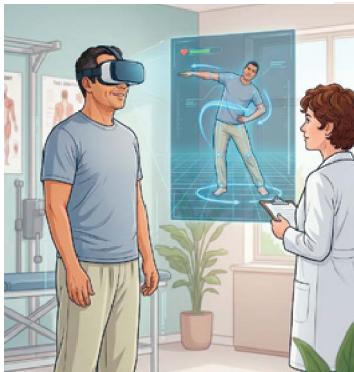
Desde el punto de vista clínico, la realidad extendida puede considerarse una forma avanzada de retroalimentación sensorial y visual capaz de integrar señales congruentes (visual, táctil y propioceptiva) para inducir el sentido de encarnación de un cuerpo virtual y promover la reorganización funcional de redes corticales (Cheung, 2014). Este enfoque se alinea con los principios de la terapia del espejo, introducida para reducir el dolor de miembro fantasma (Ramachandran & Hirstein, 1998), en la que el paciente observa el miembro sano reflejado de manera que parece ocupar el lugar del amputado, generando la ilusión de que el miembro ausente ha sido recuperado y reduciendo así el dolor fantasma. La realidad extendida amplía este principio al permitir encarnar un



cuerpo virtual con mayor realismo y personalización, mayor control del movimiento virtual, integración multisensorial e interacción con tareas funcionales estructuradas.

EMBODIMENT Y SENTIDO DE AGENCIA

El *embodiment*, o encarnación de un cuerpo virtual, se define como la sensación de poseer y controlar un cuerpo (Gallagher, 2000) y puede inducirse en realidad extendida mediante correlaciones visuomotoras o visuotáctiles sincronas. La visión del propio cuerpo modula la percepción del dolor: mirar la parte corporal dolorida reduce la intensidad percibida en comparación con mirar otro objeto (Longo et al., 2009), y la manipulación visual del tamaño corporal también modula el dolor (Mancini et al., 2011; Diers et al., 2013). En dolor crónico, donde existen alteraciones en la representación corporal, la realidad extendida permite intervenir directamente sobre esta dimensión (Martini, 2016; Matamala-Gomez et al., 2019), y un estudio mostró que aumentar la inmersividad mediante encarnación virtual incrementa el efecto hipoalgésico frente a condiciones sin avatar (Hoffman, 2021), lo que sugiere un vínculo bidireccional entre dolor y representación corporal.



En un paciente con dolor lumbar crónico, observar cómo su avatar realiza movimientos amplios sin dolor puede reducir el miedo al movimiento y facilitar la exposición progresiva (Matamala-Gomez et al., 2019).

Ejemplo clínico

EVIDENCIA CLÍNICA Y NEUROFUNCIONAL

La evidencia clínica y neurofuncional respalda estas hipótesis. En dolor de miembro fantasma, modelos de retroalimentación visual en realidad virtual han mostrado modificaciones en la representación somatosensorial cortical (Ichinose et al., 2017). Más recientemente, Čeko et al. (2024) demostraron que una intervención basada en realidad extendida y principios de neurociencia en pacientes con dolor lumbar crónico se asoció con cambios en la conectividad funcional entre redes somatosensoriales y prefrontales, junto con mejoras significativas en intensidad del dolor, interferencia funcional, calidad de vida, sueño y fatiga. Estos hallazgos

apoyan la hipótesis de que, bajo determinadas condiciones (exposición repetida, contenido estructurado y enfoque terapéutico), la realidad extendida puede modular redes implicadas en el mantenimiento del dolor crónico más allá del efecto distractivo inmediato.

Ejemplo clínico

Un paciente con amputación de miembro inferior utiliza un programa de realidad virtual en el que observa sus dos piernas completas moviéndose de forma sincronizada. Esta ilusión visual, combinada con ejercicios guiados, facilita la percepción de control y reduce la intensidad del dolor fantasma.



UN MODELO INTEGRADOR DE LOS MECANISMOS DE ACCIÓN DE LA REALIDAD EXTENDIDA EN EL DOLOR

Los mecanismos descritos en el apartado anterior (distracción atencional, regulación afectivo-motivacional, *embodiment* y neuroplasticidad) no actúan de forma aislada, sino que constituyen niveles interconectados dentro del procesamiento multidimensional del dolor. Más que entenderse como explicaciones independientes, conviene concebirlos como componentes complementarios de un mismo fenómeno terapéutico, cuyo peso relativo puede variar según el contexto clínico, el tipo de dolor, la duración de la intervención y el grado de inmersión de la experiencia.

NIVELES TEMPORALES Y FUNCIONALES

Nivel inmediato: competencia atencional

En un plano inmediato, su efecto predominante parece relacionarse con la competencia por los recursos atencionales. Al redirigir la atención del paciente hacia estímulos visuales, auditivos y cognitivos del entorno inmersivo, disminuye la saliencia del estímulo nociceptivo y se modula la activación de redes cerebrales implicadas en el procesamiento del



dolor. Este efecto resulta especialmente relevante en situaciones de dolor agudo, en procedimientos clínicos y en contextos marcados por el estrés anticipatorio, donde predominan mecanismos *top-down* dependientes de la atención y de la sensación de presencia.

Nivel intermedio: regulación emocional y motivacional

Cuando la exposición a la realidad extendida es repetida o cuando el entorno incorpora un contenido terapéutico estructurado, entran en juego procesos de regulación emocional y motivacional. En estos casos, la intervención no solo desvía la atención, sino que también puede modular la ansiedad, el miedo, el catastrofismo y la sensación de falta de control, dimensiones especialmente importantes en el dolor persistente. La gamificación, la presencia social y el diseño de experiencias que refuerzan la autoeficacia del paciente potencian esta dimensión afectiva, que contribuye a modificar no solo la intensidad del dolor, sino también su significado y su impacto funcional.

Nivel profundo: representación corporal y reorganización funcional

En un nivel más profundo, y sobre todo en exposiciones repetidas y estructuradas, la realidad extendida puede influir en la representación corporal y en la reorganización funcional de redes implicadas en el dolor. Aquí adquieren especial relevancia los mecanismos de *embodiment*, mediante los cuales el paciente puede experimentar un cuerpo virtual como propio, así como la posibilidad de modular redes sensoriomotoras, la conectividad funcional prefrontal-somatosensorial y, potencialmente, las vías descendentes inhibitorias. Este nivel resulta particularmente relevante en dolor crónico, dolor de miembro fantasma, dolor musculoesquelético persistente y otras condiciones en las que existen alteraciones de la representación corporal.

UN MODELO EN CAPAS: DE LA ATENCIÓN AL CEREBRO REORGANIZADO

A partir de esta lectura, la acción terapéutica de la realidad extendida puede entenderse como un modelo en capas (Figura 4). En la capa más superficial se sitúa la **analgesia rápida** mediada por mecanismos atencionales; en una segunda capa, la **modulación emocional y motivacional** altera la vivencia y el significado del dolor; en una tercera, los **cambios en la representación corporal transforman** la manera en que el cerebro construye el cuerpo dolorido; y, finalmente, en una capa más profunda, la **modulación de la conectividad funcional y la plasticidad cerebral** podría contribuir a cambios más sostenidos. Estas capas no son excluyentes ni necesariamente secuenciales: se superponen, interactúan y, en muchos casos, se potencian mutuamente.

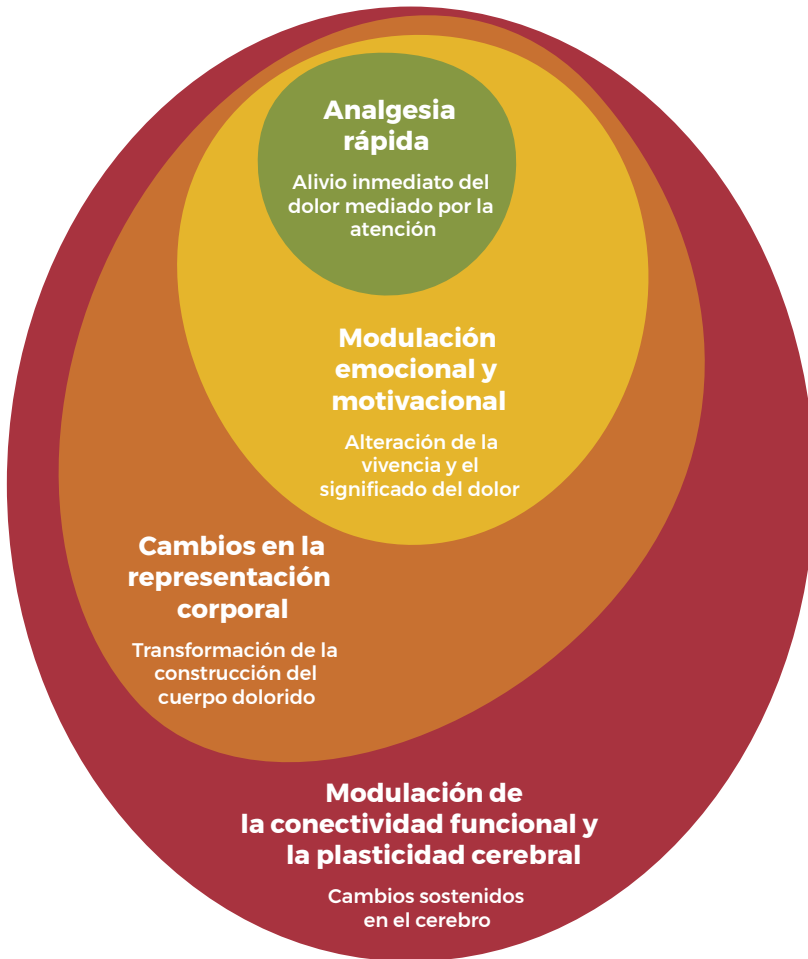


Figura 4. Modelo en capas de los mecanismos terapéuticos de la realidad extendida en el dolor.

Desde el punto de vista clínico, el efecto analgésico de la realidad extendida probablemente emerge de la interacción entre varios procesos simultáneos: la competencia atencional, la regulación emocional, la expectativa, la percepción de control, la encarnación de un cuerpo virtual y la plasticidad funcional inducida por la experiencia repetida. Esta perspectiva integradora permite comprender por qué la realidad extendida muestra una eficacia especialmente robusta en dolor agudo, donde predomina el componente atencional, y por qué sus resultados en dolor crónico son más variables cuando se utiliza exclusivamente como



estrategia de distracción. También ayuda a explicar por qué su potencial terapéutico parece mayor cuando incorpora educación, exposición progresiva, interacción significativa y trabajo sobre la representación corporal.

En este sentido, la inmersión y la interactividad no deben considerarse únicamente características técnicas del dispositivo, sino variables clínicas que pueden modificar la intensidad y la naturaleza del efecto terapéutico. Cuanto mayor sea la capacidad de la experiencia para captar la atención, generar presencia, inducir regulación emocional y promover una interacción corporal significativa, mayor será la probabilidad de activar de forma simultánea distintos mecanismos de modulación del dolor.

Este modelo integrador ofrece, por tanto, una base explicativa útil para orientar tanto la indicación como el diseño de la intervención. No se trata solo de saber si la realidad extendida puede reducir el dolor, sino de identificar qué mecanismo se desea priorizar en cada paciente y en cada contexto: la distracción inmediata en un procedimiento doloroso, la regulación afectiva en un paciente con alta ansiedad, o la modificación de la representación corporal y del comportamiento motor en cuadros persistentes. Desde este marco, la elección del contenido, la dosis, el grado de inmersión y el tipo de tarea dejan de ser decisiones tecnológicas para convertirse en decisiones clínicas.

INDICACIONES CLÍNICAS Y CONSIDERACIONES DE SEGURIDAD

La eficacia clínica de la realidad extendida en el manejo del dolor ha sido ampliamente evaluada en los últimos años. Revisiones sistemáticas y metaanálisis recientes confirman su utilidad tanto en dolor agudo como en dolor crónico, con resultados consistentes en la reducción de la intensidad del dolor y en la mejora de variables emocionales asociadas (García-Gil et al., 2023; Teh et al., 2024; Moreau et al., 2024). En términos clínicos, sus principales indicaciones pueden organizarse en función del tipo de dolor sobre el que se ha investigado, distinguiendo entre dolor agudo y dolor crónico. Esta diferenciación no es meramente clasificatoria, sino que responde a mecanismos fisiopatológicos distintos y, por tanto, a objetivos terapéuticos también diferentes.

En el **dolor agudo**, y especialmente en el dolor procedimental, la realidad extendida ha mostrado una eficacia significativa en contextos como las curas de heridas y el tratamiento de quemados (Hoffman et al., 2011), los procedimientos invasivos y la venopunción pediátrica (Ryu et al., 2022; Czech et al., 2021), así como en diferentes entornos hospitalarios en los que se busca reducir tanto el dolor como la ansiedad y

la activación fisiológica asociadas. Una revisión sistemática específica en dolor agudo confirmó que la realidad virtual constituye un distractor eficaz en procedimientos médicos, con efectos clínicamente relevantes en comparación con la atención estándar (Dreesmann et al., 2022; Teh et al., 2024). En estos escenarios, el mecanismo predominante parece relacionarse con la distracción atencional y con la regulación emocional inmediata que favorece la inmersión en el entorno virtual.

Desde esta perspectiva, la realidad extendida resulta especialmente útil en situaciones clínicas como las curas de heridas y el tratamiento en unidades de quemados, donde se ha mostrado eficaz para reducir dolor, ansiedad y activación fisiológica; en la preparación prequirúrgica, como estrategia para disminuir la ansiedad anticipatoria y el miedo; en contextos obstétricos, especialmente en la fase parto, para favorecer la regulación emocional y el afrontamiento del dolor; en procedimientos invasivos o intervenciones dolorosas, como punciones, suturas o infiltraciones, sobre todo en población pediátrica; en unidades de cuidados intensivos, como apoyo para reducir el dolor, mejorar el estado anímico y prevenir el síndrome de encamamiento; y también en el dolor postquirúrgico, donde puede influir favorablemente tanto sobre la intensidad dolorosa como sobre la regulación emocional y, potencialmente, sobre el consumo farmacológico asociado. En conjunto, se trata de escenarios en los que el efecto predominante suele estar mediado por mecanismos atencionales y afectivos de corta duración, siendo la inmersión y el contenido del entorno virtual variables clave para la eficacia clínica.

En el **dolor crónico**, en cambio, la realidad extendida suele integrarse dentro de programas estructurados y su utilidad no se limita a la distracción puntual. En el dolor lumbar crónico, por ejemplo, los programas domiciliarios basados en habilidades conductuales han demostrado reducciones significativas en la intensidad e interferencia del dolor en ensayos controlados (García et al., 2021), con mantenimiento de resultados a los 12 meses (Maddox et al., 2024). Además, estudios con neuroimagen funcional han mostrado cambios en redes somatosensoriales y prefrontales asociados a la mejoría clínica (Čeko et al., 2024). En el dolor neuropático y en el dolor de miembro fantasma, las intervenciones basadas en representación corporal y ejecución motora virtual han mostrado resultados prometedores (Ortiz-Catalan et al., 2016; Matamala-Gomez et al., 2019). Del mismo modo, en cuadros generalizados como la fibromialgia o el dolor persistente se han descrito beneficios en la intensidad del dolor, la fatiga, el estado de ánimo y la regulación emocional (Jones et al., 2016). La incorporación de educación inmersiva y entrenamiento en habilidades psicológicas también ha mostrado resultados positivos en autoeficacia y regulación emocional (Skidmore et al., 2024; Ding et al.,



2025; Colloca et al., 2025), lo que refuerza la idea de que, en dolor crónico, la realidad extendida adquiere mayor valor cuando se inserta en un abordaje terapéutico más amplio.

Dentro del dolor crónico, una de las indicaciones más estudiadas corresponde al dolor musculoesquelético persistente, incluyendo cuadros de dolor lumbar, cervical, de hombro o de rodilla. En estos pacientes se ha investigado su impacto sobre la reducción de la intensidad e interferencia del dolor, la disminución de la discapacidad, la reducción del miedo al movimiento y de las conductas de evitación, la modificación del sesgo atencional, la mejora del control motor y del comportamiento funcional, así como su efecto positivo sobre la calidad de vida, el estado de ánimo, la fatiga y el sueño. En términos clínicos, su interés radica en que permite combinar exposición, movimiento, educación y regulación emocional dentro de una misma experiencia terapéutica.

También se ha explorado su papel en el **dolor neuropático** asociado a afectación del sistema nervioso central, como ocurre tras un ictus, en la lesión medular, en el síndrome de dolor regional complejo o en el dolor de miembro fantasma. En estos casos, la realidad extendida puede actuar sobre dimensiones especialmente relevantes, como la representación corporal alterada, la regulación emocional, la activación del sistema nervioso autónomo y la modulación de redes sensoriomotoras. Su potencial resulta especialmente interesante cuando existen distorsiones perceptivas o alteraciones en la integración entre intención motora, *feedback* visual y experiencia corporal.

En el **dolor generalizado**, como la fibromialgia o el síndrome de fatiga crónica, se ha explorado su uso con el objetivo de reducir la intensidad del dolor, disminuir la fatiga, mejorar la interferencia funcional y favorecer la regulación emocional, incluyendo síntomas ansioso-depresivos. Asimismo, se ha planteado su utilidad para modular alteraciones perceptuales corporales que con frecuencia acompañan a estos cuadros clínicos. En el contexto del **dolor oncológico**, por su parte, la realidad extendida puede emplearse como herramienta complementaria para reducir el dolor, disminuir la fatiga, facilitar la regulación emocional y mejorar el afrontamiento psicológico, especialmente cuando se integra en programas de soporte sintomático y cuidado centrado en la persona.

CONTRAINDICACIONES

Aunque en términos generales se considera una intervención segura, existen contraindicaciones absolutas que obligan a descartar su uso, como la epilepsia fotosensible, el deterioro cognitivo severo que impida una interacción significativa con el entorno virtual, los trastornos psiquiátricos graves no estabilizados, la patología oftalmológica severa,

como retinopatías avanzadas o glaucoma descompensado, y los procesos infecciosos agudos en fase activa.

Existen, además, contraindicaciones relativas o situaciones que requieren una valoración clínica individualizada. Entre ellas se incluyen las fracturas o lesiones agudas en regiones corporales que requieran interacción activa, los niños menores de 13 años, aunque el uso supervisado puede ser posible desde los 4 años con exposiciones breves y contenidos adaptados, las cardiopatías no controladas, la patología dermatológica en las zonas de contacto con el dispositivo, la fiebre y determinadas enfermedades metabólicas descompensadas, como la diabetes, la hipertensión o algunos trastornos alimentarios. En estos casos, más que una exclusión sistemática, lo que se impone es una indicación prudente, adaptada al perfil del paciente y al tipo de experiencia propuesta.

EFFECTOS ADVERSOS: *CYBERSICKNESS*

Entre los efectos adversos, el más conocido es el denominado *cybersickness* o ciberenfermedad. Aunque la evidencia respalda la seguridad de la realidad extendida en contextos clínicos, la exposición prolongada o las experiencias mal ajustadas pueden producir síntomas como mareo, náuseas, cefalea, desorientación o dolor postural. La tasa media de aparición descrita en algunos estudios se sitúa en torno al 15,6 % (Caserman et al., 2021), si bien los avances tecnológicos recientes han reducido esta incidencia a cifras inferiores al 5 %. En la mayoría de los casos se trata de un efecto leve y transitorio. El mecanismo más aceptado para explicarlo es el conflicto sensorial entre la información visual, que sugiere movimiento, y la información vestibular, que indica estabilidad, generando una discrepancia en la integración multisensorial. En la práctica clínica, una adecuada selección de pacientes, la adaptación progresiva, la reducción de la latencia y el diseño apropiado del contenido permiten disminuir significativamente este riesgo.

DOSIS EN REALIDAD EXTENDIDA PARA EL MANEJO DEL DOLOR

Uno de los principales retos en la integración clínica de la realidad extendida es definir su dosis terapéutica óptima. Por dosis se entienden aquí tres variables fundamentales: la duración de cada sesión, la frecuencia semanal y la duración total del programa. Al igual que ocurre con un fármaco o con el ejercicio terapéutico, la dosis condiciona tanto la eficacia



como la adherencia. Sin embargo, la literatura disponible muestra una considerable heterogeneidad en los protocolos utilizados. A pesar de esta variabilidad, comienzan a identificarse patrones relativamente consistentes según el tipo de dolor y el objetivo terapéutico.

DOSIS SEGÚN CONTEXTO CLÍNICO

En el dolor agudo procedimental, la evidencia es especialmente sólida. La realidad extendida se ha aplicado en venopunciones, curas de quemaduras, cirugía menor, procedimientos obstétricos y otros contextos invasivos. En estos escenarios, la intervención suele caracterizarse por ser breve pero intensa, por coincidir con el momento del procedimiento y por buscar un alto grado de inmersión. La duración habitual se sitúa entre 10 y 20 minutos, comenzando idealmente entre 3 y 5 minutos antes del procedimiento para favorecer la preparación emocional y manteniéndose durante toda la intervención. El contenido suele centrarse en entornos naturales relajantes, juegos simples con alta capacidad distractiva o experiencias con elevada sensación de presencia. Este enfoque ha demostrado reducir significativamente el dolor y la ansiedad durante procedimientos médicos (Hoffman et al., 2001; Teh et al., 2024). En este contexto, la dosis óptima parece estar determinada más por la intensidad inmersiva y la adecuación temporal al procedimiento que por una duración prolongada.



Un niño con quemaduras se sumerge en un entorno nevado mientras recibe la cura; la atención se desvía del estímulo doloroso y disminuye la percepción del dolor.

Ejemplo clínico

En el dolor crónico musculoesquelético, como el dolor lumbar, cervical, de hombro o de rodilla, la realidad extendida suele utilizarse como complemento dentro de programas estructurados de rehabilitación. Los patrones más frecuentes descritos en la literatura apuntan a sesiones de entre 10 y 30 minutos, ajustadas a la tolerancia del paciente, con una frecuencia de 3 a 5 sesiones por semana y una duración total del programa de entre 4 y 8 semanas. Para obtener efectos clínicamente relevantes, parece necesario alcanzar al menos entre 8 y 12 sesiones en total, siendo frecuente encontrar protocolos que acumulan entre 16 y 24 sesiones. La evidencia sugiere, además, que la combinación de módulos activos, como

ejercicio o actividad graduada, con módulos cognitivos o de regulación, como respiración, *mindfulness* o educación en dolor, mejora los resultados frente a intervenciones exclusivamente distractivas (Matamala-Gomez et al., 2019; García-Gil et al., 2023).



Pacientes con dolor lumbar crónico realizan sesiones de VR de 20 minutos, tres veces por semana durante seis semanas, observándose mejoras en dolor e interferencia funcional.

Ejemplo clínico

El desarrollo reciente de dispositivos autónomos ha favorecido también la implantación de programas domiciliarios estructurados para dolor crónico. Estos programas suelen caracterizarse por sesiones cortas, de entre 5 y 10 minutos diarios, con una frecuencia de uso diaria y una duración total de entre 3 y 8 semanas, lo que equivale aproximadamente a 21–56 días de intervención. Ensayos clínicos controlados, como los desarrollados con el programa EaseVRx, han demostrado eficacia tras 56 días consecutivos de uso diario, con reducciones significativas en dolor e interferencia funcional (Garcia et al., 2021; Spiegel et al., 2024). En población mayor, especialmente cuando el objetivo es mejorar la calidad de vida, se ha sugerido que el umbral mínimo de eficacia podría situarse en intervenciones de 10–12 semanas o en una exposición acumulada superior a 600 minutos, según evidencia reciente en adultos mayores (Trillo-Charlín et al., 2026). Este dato introduce una consideración relevante: la dosis puede entenderse no solo en términos de frecuencia semanal o duración por sesión, sino también como tiempo acumulado de exposición.

Ejemplo clínico

Un paciente con fibromialgia realiza módulos diarios de realidad virtual de *mindfulness* y educación en dolor durante ocho semanas, observando mejoras en dolor, ansiedad y sueño.





En cuidados paliativos y en el contexto oncológico, la realidad extendida se emplea principalmente con objetivos sintomáticos y emocionales. En estos casos, la dosificación suele adaptarse a la fragilidad del paciente, con sesiones de entre 10 y 20 minutos, una frecuencia de una o dos veces al día según tolerancia, y una prioridad clara por contenidos de relajación, naturaleza y experiencias contemplativas. Aquí el objetivo no es tanto promover una reorganización funcional a largo plazo como ofrecer alivio inmediato del dolor y del distrés emocional.



Una paciente oncológica avanzada realiza sesiones de realidad virtual de 15 minutos en un entorno de playa, experimentando alivio inmediato del dolor y reducción del malestar emocional (Niki et al., 2019).

Ejemplo clínico

FACTORES QUE MODULAN LA DOSIS EFECTIVA

La dosis efectiva no depende exclusivamente del tiempo de exposición. También interviene de forma decisiva la calidad de la experiencia inmersiva. Diversos factores modulan la eficacia de la intervención. Una alta sensación de presencia, favorecida por gráficos realistas, sonido espacial y baja latencia, puede permitir sesiones más cortas con resultados comparables (Slater, 2003; Felnhofer et al., 2014). Del mismo modo, una interactividad moderada o alta mejora la adherencia y la eficacia, sobre todo en dolor crónico (Matamala-Gomez et al., 2019). A ello se suma la necesidad de adecuar el contenido al objetivo clínico: los entornos de relajación y naturaleza parecen especialmente útiles en procedimientos agudos y en cuidados paliativos; las experiencias con interacción motora y cognitiva adquieren mayor interés en dolor crónico; y la educación inmersiva resulta particularmente relevante en programas domiciliarios.

Por tanto, la dosis efectiva de realidad extendida debería entenderse como la combinación entre tiempo de exposición, frecuencia, contenido terapéutico, nivel de inmersión y objetivo clínico (Tabla 1). Esta lectura evita reducir la dosificación a una mera cuestión de minutos y permite integrarla dentro de un razonamiento clínico más amplio, en el que la intensidad de la experiencia, su adecuación al contexto y la tolerancia del paciente son tan importantes como la duración formal del programa.

Tabla 1. Recomendaciones orientativas de dosis de realidad extendida en el manejo del dolor.

CONTEXTO CLÍNICO	DURACIÓN POR SESIÓN	FRECUENCIA	DURACIÓN TOTAL ORIENTATIVA	OBJETIVO PREDOMINANTE
Dolor agudo procedimental (curas, venopunción, cirugía menor, parto)	10-20 min (iniciar 3-5 min antes)	Puntual (coincide con procedimiento)	Coincide con el evento clínico	Distracción atencional y regulación emocional inmediata
Dolor crónico musculoesquelético (rehabilitación clínica)	10-30 min	3-5 sesiones/semana	4-8 semanas (≥8-12 sesiones; óptimo 16-24) o >600 min acumulados	Modulación cognitivo-emocional + activación motora
Programas domiciliarios estructurados	5-10 min	Diario	3-8 semanas (21-56 días)	Entrenamiento en habilidades psicológicas y autorregulación
Cuidados paliativos / oncológico	10-20 min	1-2 veces/día según tolerancia	Flexible	Alivio sintomático y reducción de distrés

Nota: Las recomendaciones se basan en ensayos clínicos controlados y revisiones sistemáticas recientes. La dosis debe individualizarse según tolerancia, objetivo terapéutico y características del paciente.

IMPLEMENTACIÓN CLÍNICA DE LA REALIDAD EXTENDIDA EN EL MANEJO DEL DOLOR

Tras revisar fundamentos neurocientíficos, indicaciones y dosificación, la cuestión clave ya no es si la realidad extendida puede reducir el dolor, sino cómo se está integrando realmente en los sistemas sanitarios y en qué condiciones resulta viable.

La implementación clínica de la realidad extendida en el manejo del dolor ha dejado de ser exclusivamente experimental. En los últimos



años se han desarrollado experiencias en atención primaria, hospitales y unidades del dolor que permiten analizar no solo su eficacia, sino también su factibilidad, aceptación y adaptación al flujo asistencial.

ATENCIÓN PRIMARIA: DE LA TEORÍA A LA PRÁCTICA COMUNITARIA

La atención primaria representa un entorno estratégico para la integración de realidad extendida, especialmente en dolor crónico y procedimientos de alta frecuencia.

Dolor agudo pediátrico en centros de salud

Un ensayo clínico aleatorizado realizado en centros de atención primaria de Cataluña Central evaluó el uso de realidad virtual durante la administración de vacunas en población pediátrica (De la Cruz Herrera et al., 2025). El estudio mostró una reducción significativa del dolor y la ansiedad en comparación con la atención habitual, confirmando que la realidad extendida puede implementarse en procedimientos breves sin alterar el flujo asistencial.

Programas estructurados en dolor crónico: REDOCVR

En el ámbito del dolor crónico, el programa REDOCVR constituye un ejemplo relevante de implementación real en atención primaria. El estudio de factibilidad y usabilidad publicado por Ferrer Costa et al. (2025) evaluó la integración de contenidos inmersivos dentro de programas grupales de dolor crónico ya existentes en centros de atención primaria.

La intervención combinó educación en dolor, regulación emocional, actividad física progresiva y experiencias inmersivas supervisadas. Los resultados mostraron una alta aceptabilidad por parte de pacientes y profesionales, buena usabilidad tecnológica y viabilidad de integración sin aumento significativo de carga asistencial.

Este estudio aporta un elemento diferencial respecto a ensayos clínicos controlados. Demuestra que la realidad extendida puede trasladarse del entorno experimental a la práctica real, manteniendo coherencia con los programas multidisciplinares existentes.

En este sentido, la realidad extendida no actúa como sustituto de la intervención clínica, sino como herramienta facilitadora de adherencia, motivación y autoeficacia dentro de un modelo rehabilitador.

HOSPITAL Y ÁMBITO PERIOPERATORIO

El entorno hospitalario ha sido tradicionalmente el primer espacio de adopción de tecnologías inmersivas.

Preparación prequirúrgica

En el Hospital Municipal de Badalona se desarrolló una intervención de realidad virtual en la consulta preanestésica orientada a disminuir la ansiedad anticipatoria y evaluar su usabilidad (Ferrer-Costa et al., 2025). La intervención combinaba escenarios inmersivos calmantes, información estructurada sobre el proceso anestésico y guion educativo adaptado.

El programa se aplicó en la sala de espera prequirúrgica mediante dispositivos autónomos, sin interferir en la dinámica asistencial. La serie de casos mostró alta aceptabilidad y viabilidad logística. Este ejemplo ilustra un cambio conceptual importante: la realidad extendida no solo como distractor, sino como herramienta de educación sanitaria inmersiva.

Unidades de quemados y procedimientos dolorosos

El uso de entornos como *SnowWorld* en pacientes con quemaduras durante curas dolorosas constituye uno de los ejemplos históricos más consolidados de implementación hospitalaria (Hoffman et al., 2001). La experiencia acumulada en unidades de quemados en EE. UU. y Europa demostró una reducción significativa del dolor percibido, disminución de la ansiedad y mejor colaboración del paciente. Este tipo de implementación suele requerir coordinación con el equipo de enfermería, protocolización clara y selección adecuada del contenido.

UNIDADES DEL DOLOR: COMPLEMENTO NO FARMACOLÓGICO

Las Unidades del Dolor representan un entorno especialmente adecuado para integrar realidad extendida como estrategia complementaria. Programas domiciliarios como EaseVRx han sido utilizados como complemento no farmacológico en dolor lumbar crónico y otros síndromes persistentes, con evidencia de reducción de intensidad del dolor e interferencia funcional (García et al., 2021; Maddox et al., 2024).

En el contexto español, algunos hospitales universitarios han iniciado programas piloto de realidad extendida para procedimientos intervencionistas, reducción de ansiedad en infiltraciones y complemento en dolor neuropático persistente. Los resultados reportados incluyen mayor distracción, reducción del dolor percibido e incremento de satisfacción del paciente.

Sin embargo, la implementación en unidades especializadas también ha evidenciado barreras como la necesidad de formación del personal, selección adecuada de candidatos, integración en agendas ya saturadas y coste inicial de adquisición.



FACTORES QUE DETERMINAN EL ÉXITO DE IMPLEMENTACIÓN EN EL SISTEMA

Más allá de la eficacia clínica, la adopción de realidad extendida en entornos reales depende de varios factores:

1. **Simplicidad tecnológica:** Dispositivos autónomos, fáciles de higienizar y configurar.
2. **Tiempo de aplicación compatible con la consulta:** Protocolos breves y estructurados.
3. **Aceptación por parte del profesional:** Si el equipo percibe utilidad clínica real, la adopción es mayor.
4. **Selección adecuada de pacientes:** No todos los perfiles se benefician por igual.
5. **Integración en programas existentes:** La realidad extendida funciona mejor como complemento que como sustituto.

LECCIÓN PRINCIPAL DE LA IMPLEMENTACIÓN CLÍNICA

La experiencia acumulada sugiere que el éxito no depende exclusivamente de la tecnología, sino del modelo de integración asistencial.

La realidad extendida muestra mayor viabilidad cuando:

1. Está alineada con objetivos clínicos claros.
2. Se integra dentro de protocolos ya existentes.
3. No aumenta significativamente la carga asistencial.
4. Se utiliza con criterios de indicación bien definidos.

En otras palabras, la tecnología es el medio. El diseño terapéutico sigue siendo el núcleo.

CÓMO ELEGIR E INTEGRAR LA REALIDAD EXTENDIDA EN LA PRÁCTICA CLÍNICA

Tras revisar los fundamentos, la evidencia, la dosificación y la implementación real de la realidad extendida, surge una pregunta práctica inevitable: cómo puede un profesional integrarla en su consulta de manera viable y sin añadir una complejidad innecesaria. Este apartado no pretende ofrecer un catálogo tecnológico, sino proponer criterios clínicos para una elección racional, operativa y adaptada a la práctica asistencial.

¿QUÉ DISPOSITIVO ES REALMENTE NECESARIO?

En la mayoría de los contextos clínicos actuales, un dispositivo inmersivo autónomo es suficiente para iniciar el uso de realidad extendida en

el manejo del dolor. Estos equipos permiten una implementación viable sin necesidad de infraestructuras complejas, por lo que suelen ser adecuados para procedimientos breves, educación inmersiva o programas domiciliarios. Los sistemas más avanzados, incluidos algunos dispositivos de realidad mixta, pueden ser útiles en contextos específicos, como la investigación o determinadas formas de rehabilitación interactiva, pero no son imprescindibles para comenzar. En la práctica, la elección del dispositivo debe basarse menos en las especificaciones técnicas y más en su simplicidad operativa, su comodidad para el paciente y su utilidad clínica real (Tabla 2).

Tabla 2. Criterios prácticos para elegir un dispositivo de realidad extendida en clínica.

DIMENSIÓN	CRITERIO PRÁCTICO
Tipo de equipo	Dispositivo inmersivo autónomo
Requisitos técnicos	No requiere conexión a un ordenador externo potente
Movilidad	Inalámbrico y fácil de transportar entre consultas
Coste orientativo	Aproximadamente entre 300 y 700 euros
Gestión clínica	Fácil limpieza y desinfección
Uso continuado	Bajo tiempo de configuración
Experiencia del paciente	Comodidad, peso y ajuste adecuados

ELEGIR EL CONTENIDO SEGÚN EL OBJETIVO TERAPÉUTICO

La efectividad de la realidad extendida depende más del contenido que del *hardware*. Por ello, la selección de la experiencia debe alinearse con el objetivo terapéutico y con las necesidades clínicas del paciente, de modo que cada entorno o programa responda a una función concreta dentro del tratamiento (Tabla 3).



Tabla 3. Selección orientativa del contenido de realidad extendida según el objetivo terapéutico.

CONTEXTO CLÍNICO	TIPO DE CONTENIDO RECOMENDADO	CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES
Procedimientos agudos	Entornos relajantes o recursos simples de distracción	Alta presencia, baja complejidad y fácil tolerancia
Dolor crónico musculoesquelético	Programas estructurados	Educación en dolor, actividad graduada, interactividad moderada y regulación emocional
Dolor neuropático o alteraciones corporales	Experiencias con componentes de embodiment	Retroalimentación motora e interacción visuomotora sincronizada
Cuidados paliativos	Experiencias contemplativas	Naturaleza, música envolvente y baja demanda cognitiva

La clave es evitar el uso indiscriminado de la realidad extendida como mero recurso de entretenimiento. El contenido debe responder siempre a una intencionalidad terapéutica explícita.

BARRERAS REALES QUE DEBEN ANTICIPARSE EN CONSULTA

La implementación clínica de la realidad extendida no suele fracasar por falta de eficacia, sino por dificultades prácticas que interfieren con su incorporación al flujo asistencial. Por ello, antes de introducir esta herramienta en consulta, conviene identificar las barreras más frecuentes y anticipar estrategias sencillas que faciliten su adopción progresiva (Tabla 4).

La adopción mejora cuando se comienza con un grupo reducido de pacientes, se establecen criterios claros de indicación, se evalúan resultados internos y el equipo recibe una formación breve pero estructurada. De este modo, la realidad extendida no se incorpora como una moda tecnológica, sino como una herramienta clínica integrada de forma progresiva y evaluable.

Tabla 4. Barreras frecuentes y estrategias prácticas de implementación.

BARRERA	ESTRATEGIA PRÁCTICA
Falta de tiempo en consulta	Comenzar con protocolos breves y fácilmente integrables en la rutina asistencial
Resistencia inicial del equipo	Introducir la herramienta mediante un piloto acotado y formación básica estructurada
Dudas sobre higiene y desinfección	Establecer un protocolo claro de limpieza entre usos
Miedo al mareo o <i>cybersickness</i>	Seleccionar bien a los pacientes y utilizar exposiciones breves y progresivas
Expectativas irreales del paciente	Explicar objetivos, límites y beneficios esperables antes de iniciar la intervención
Ausencia de protocolo claro	Definir indicaciones, contraindicaciones, dosis y registro de resultados

UN MODELO PRÁCTICO DE INTRODUCCIÓN EN CONSULTA

Para facilitar la integración de la realidad extendida en la práctica clínica, puede seguirse un modelo escalonado de incorporación que permita reducir resistencias, ordenar la implementación y evaluar su utilidad real en cada entorno asistencial (Figura 5). Este enfoque favorece una adopción progresiva y evita que la tecnología se utilice como una intervención aislada o desconectada del razonamiento clínico.



Figura 5. Modelo escalonado para introducir la realidad extendida en la consulta clínica.

RETOS ACTUALES Y PERSPECTIVAS FUTURAS DE LA REALIDAD EXTENDIDA EN EL MANEJO DEL DOLOR

La realidad extendida ha demostrado ser una herramienta prometedora en el manejo del dolor, especialmente en contextos de dolor agudo y procedimental. Sin embargo, su consolidación como intervención clínica estructurada en dolor crónico aún enfrenta desafíos importantes. El momento actual no es de entusiasmo acrítico, sino de transición hacia una integración más madura y basada en evidencia.

RETOS CIENTÍFICOS Y CLÍNICOS

Evidencia en dolor crónico a largo plazo

Aunque los resultados en dolor agudo son consistentes, la evidencia en dolor crónico todavía presenta limitaciones importantes, entre ellas la heterogeneidad de los protocolos, las diferencias en la dosis aplicada, la variabilidad en los perfiles de pacientes y la escasez de seguimientos prolongados. Por ello, es necesario avanzar hacia ensayos clínicos con mayor tamaño muestral, seguimiento a medio y largo plazo y análisis por subgrupos clínicos. La cuestión ya no es si la realidad extendida reduce el dolor, sino en qué pacientes y en qué condiciones es capaz de producir cambios sostenidos.

Personalización según fenotipo de dolor

No todos los pacientes responden de la misma manera, y factores como el nivel de sensibilización central, el perfil emocional, el miedo al movimiento, la edad o la experiencia previa con tecnología probablemente modulan la respuesta a la realidad extendida. En este contexto, será necesario avanzar hacia modelos de indicación más precisos, en los que la tecnología se adapte al perfil del paciente y no al revés.

Comprensión de mecanismos

Aunque ya se han descrito mecanismos atencionales, afectivos y representacionales implicados en la acción de la realidad extendida, todavía es necesario clarificar el peso relativo de cada uno, identificar biomarcadores de respuesta y determinar qué tipo de contenido activa cada red funcional. En esta etapa, la integración de datos de neuroimagen, medidas psicofisiológicas y resultados clínicos será fundamental.



INTEGRACIÓN CON INTELIGENCIA ARTIFICIAL Y BIOFEEDBACK

Una de las líneas de desarrollo más relevantes es la convergencia entre la realidad extendida y la inteligencia artificial. En el futuro próximo, es previsible que los sistemas de realidad extendida sean capaces de ajustar el nivel de estímulo en tiempo real, adaptar el entorno a la respuesta fisiológica, integrar *biofeedback* (como frecuencia cardíaca, variabilidad cardíaca o respiración) y modificar las tareas en función del rendimiento motor o emocional. Esta evolución permitiría diseñar intervenciones más dinámicas, adaptativas y personalizadas. Transformando la realidad extendida de un entorno estático a una herramienta de modulación en tiempo real.

MODELOS HÍBRIDOS ASISTENCIALES

Otro de los retos principales es la integración de la realidad extendida en modelos híbridos de atención, que combinen consulta presencial y uso domiciliario, atención primaria y supervisión remota, o programas grupales con módulos individuales inmersivos. En este contexto, la realidad extendida puede favorecer la continuidad asistencial entre distintos niveles de atención, especialmente en entornos rurales o en escenarios con listas de espera prolongadas.

FORMACIÓN DEL PROFESIONAL

La adopción real de la realidad extendida dependerá también de la formación de los profesionales sanitarios. Para incorporarla de forma adecuada a la práctica clínica, será necesario comprender sus mecanismos de acción, saber indicar su uso, manejar sus contraindicaciones, ajustar la dosis e integrarla en el razonamiento clínico. La tecnología no sustituye la competencia profesional, sino que puede amplificarla cuando se utiliza con criterio.

EL EQUILIBRIO ENTRE INNOVACIÓN Y PRUDENCIA

En esta fase de desarrollo, el riesgo es doble y consiste tanto en sobreestimar los beneficios de la realidad extendida como en subestimar su potencial por desconocimiento. Su consolidación en el manejo del dolor dependerá, en gran medida, de mantener un equilibrio entre innovación tecnológica, evidencia científica, aplicabilidad clínica y sostenibilidad económica.

CONCLUSIÓN

La realidad extendida ha pasado, en pocos años, de ser una curiosidad tecnológica para convertirse en una herramienta con evidencia creciente en el manejo del dolor. Su eficacia en el dolor agudo procedimental está bien respaldada y su aplicación en dolor crónico comienza a consolidarse dentro de programas estructurados que integran educación, regulación emocional y activación motora.

Sin embargo, no debe entenderse como una intervención aislada ni como una solución universal. Su valor clínico emerge cuando se integra dentro de un modelo biopsicosocial del dolor, con objetivos terapéuticos claros, dosificación adecuada y selección rigurosa de pacientes. En este sentido, la realidad extendida puede actuar sobre distintos niveles del procesamiento del dolor, al redirigir la atención en contextos agudos, modular la dimensión afectivo-motivacional, influir en la representación corporal y facilitar cambios funcionales en redes implicadas en la cronicación. Pero estos mecanismos solo se traducen en beneficio clínico cuando la tecnología está subordinada al razonamiento clínico. La cuestión relevante ya no es solo si funciona, sino en qué perfil de paciente resulta más útil, con qué objetivo concreto debe aplicarse, durante cuánto tiempo y dentro de qué modelo asistencial adquiere sentido.

La próxima etapa en la evolución de la realidad extendida no será de entusiasmo inicial, sino de consolidación. El reto ya no consiste solo en demostrar su potencial, sino en definir mejor sus indicaciones, ajustar la dosis a cada contexto, personalizar la intervención, integrarla en modelos híbridos presenciales y domiciliarios y formar a los profesionales en un uso racional. Esta no sustituye la relación terapéutica, ni el ejercicio, ni la educación en dolor, pero puede amplificar sus efectos cuando se utiliza con criterio. Para el clínico en activo, el mensaje es claro: la realidad extendida no es ciencia ficción ni requiere infraestructuras complejas para comenzar. Con dispositivos accesibles y protocolos bien definidos, puede incorporarse progresivamente como complemento no farmacológico en distintos escenarios del manejo del dolor.

En última instancia, el valor de la realidad extendida no reside en la tecnología en sí, sino en su capacidad para facilitar experiencias terapéuticas significativas. El futuro del manejo del dolor seguirá dependiendo del conocimiento clínico, la personalización y la integración de herramientas (digitales o no), que ayuden a las personas a recuperar función, autonomía y calidad de vida. •

Fundamentos de inteligencia artificial • 142

Definición y conceptos fundamentales • 142

Tipos de inteligencia artificial aplicables al abordaje del dolor • 142

Machine learning (Aprendizaje automático) • 144

Deep learning (Aprendizaje profundo) • 145

Procesamiento de lenguaje natural y modelos de lenguaje grande • 146

Visión por computadora • 147

Sistemas expertos • 147

Regulaciones y desafíos éticos • 149

Marco regulatorio actual • 149

Consideraciones éticas fundamentales • 150

Aplicaciones en dolor • 151

Usos en evaluación y tratamiento • 151

Evaluación objetiva del dolor • 151

Diagnóstico asistido por inteligencia artificial • 152

Predicción y pronóstico • 152

Personalización de tratamientos • 153

Chatbots y asistentes virtuales para apoyo emocional • 153

Fundamentos de asistentes virtuales en dolor • 153

Evidencia y casos de éxito • 155

Modelos aplicados a salud y dolor • 155

Evidencia de revisiones sistemáticas • 155

Modelos específicos con evidencia • 156

Implementación clínica: estado actual y perspectivas • 157

Factores críticos de éxito y fracaso • 157

Marco decisional para la práctica clínica • 158

Hallazgos clave • 160

Limitaciones fundamentales • 160

Direcciones futuras • 160

Implicaciones para la práctica clínica • 160



INTELIGENCIA ARTIFICIAL Y DOLOR

Raúl Ferrer Peña, Rafael González Cano y José Javier López Marcos

OBJETIVO PRINCIPAL

Analizar críticamente el papel de la inteligencia artificial en el ámbito del dolor, comprendiendo sus fundamentos, aplicaciones clínicas, la calidad de la evidencia científica disponible, las implicaciones éticas y regulatorias, así como los requisitos para una implementación segura y efectiva.

OBJETIVOS SECUNDARIOS

- Comprender los fundamentos de la inteligencia artificial y sus diferentes tipos aplicables al manejo del dolor.
- Identificar las aplicaciones específicas de la inteligencia artificial en la evaluación, el diagnóstico y el tratamiento del dolor, diferenciando entre capacidades demostradas y promesas no validadas.
- Evaluar críticamente la evidencia científica disponible sobre la eficacia de los sistemas de inteligencia artificial en el abordaje del dolor, incluyendo sus limitaciones metodológicas.
- Analizar los desafíos éticos y regulatorios asociados con la implementación de la inteligencia artificial en el cuidado del dolor, incluyendo el Reglamento Europeo de Inteligencia Artificial.
- Proporcionar un marco decisional para que los clínicos puedan evaluar la pertinencia de incorporar herramientas de inteligencia artificial en su práctica.

FUNDAMENTOS DE INTELIGENCIA ARTIFICIAL

DEFINICIÓN Y CONCEPTOS FUNDAMENTALES

La inteligencia artificial se define como la capacidad de sistemas computacionales para realizar tareas que tradicionalmente requieren inteligencia humana, incluyendo aprendizaje, razonamiento, percepción y toma de decisiones (Russell & Norvig, 2020). En el contexto del abordaje del dolor, la inteligencia artificial abarca un espectro amplio de tecnologías que pueden procesar grandes volúmenes de datos complejos, identificar patrones sutiles en información clínica y generar predicciones sobre resultados relacionados con el dolor.

El concepto de inteligencia artificial en el abordaje del dolor no se limita a la automatización de tareas rutinarias, sino que se extiende a la capacidad de estos sistemas para aprender de la experiencia, adaptarse a nuevas situaciones y proporcionar nuevas perspectivas que pueden no ser evidentes para observadores humanos. Esta capacidad de aprendizaje y adaptación es particularmente relevante en el manejo del dolor, donde la variabilidad individual en presentaciones clínicas y respuestas terapéuticas ha representado históricamente uno de los desafíos más significativos para los clínicos.

No obstante, es importante señalar desde el inicio que existe una brecha considerable entre el rendimiento de estos sistemas en condiciones de investigación y su utilidad clínica real. Como se detallará a lo largo de este capítulo, la mayor parte de la evidencia disponible procede de estudios retrospectivos con alto riesgo de sesgo, y la validación prospectiva en entornos clínicos reales sigue siendo escasa.

TIPOS DE INTELIGENCIA ARTIFICIAL APLICABLES AL ABORDAJE DEL DOLOR

La inteligencia artificial engloba un conjunto diverso de enfoques computacionales que pueden aplicarse al abordaje del dolor según el tipo de datos disponibles, el objetivo clínico y el nivel de complejidad del problema a resolver. Desde algoritmos capaces de identificar patrones en variables clínicas estructuradas hasta sistemas que analizan imágenes, lenguaje o expresiones faciales, cada modalidad ofrece posibilidades específicas para la evaluación, predicción y apoyo a la toma de decisiones. En este contexto, resulta útil diferenciar los principales tipos de inteligencia artificial empleados en dolor sus aplicaciones más relevantes, así como sus ventajas y limitaciones (véase Tabla 1 y Figura 1).



Tabla 1. Comparación de tipos de inteligencia artificial aplicables al dolor.







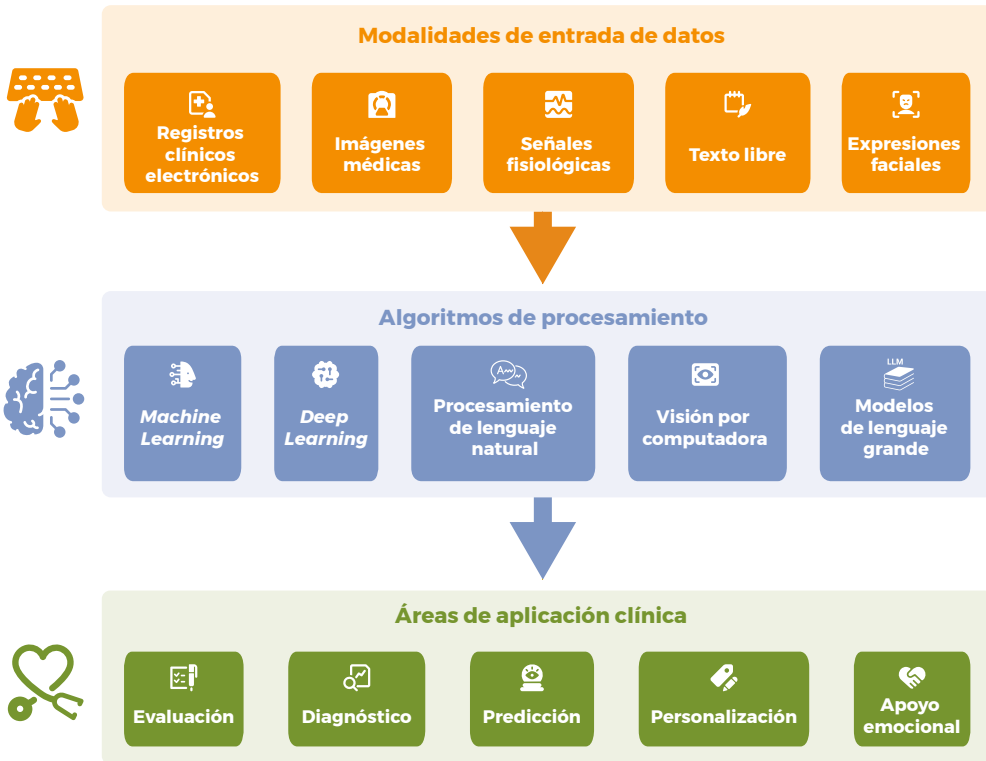
TIPO DE IA	DESCRIPCIÓN	APLICACIONES EN DOLOR	VENTAJAS	LIMITACIONES
 Machine learning	Algoritmos que aprenden patrones de datos estructurados	Predicción de cronificación, clasificación de dolor y optimización de dosis	Interpretable, requiere menos datos y computacionalmente eficiente	Limitado para datos complejos y requiere ingeniería de características
 Deep learning	Redes neuronales multicapa para datos complejos	Análisis de imágenes médicas, reconocimiento facial de dolor y señales fisiológicas	Maneja datos complejos y no requiere ingeniería manual de características	“Caja negra”, requiere grandes bases de datos y computacionalmente intensivo
 Procesamiento de lenguaje natural	Análisis y comprensión de texto especializado	Extracción de información de registros clínicos y análisis de reportes de pacientes	Aprovecha texto no estructurado y es escalable	Dependiente del idioma y requiere contexto profesional sanitario específico
 Modelos de lenguaje grande	Modelos generativos de texto con capacidades conversacionales avanzadas	Educación del paciente, síntesis de información clínica, apoyo a la redacción médica y triaje inicial	Alta capacidad conversacional y generación de contenido personalizado	Riesgo de alucinaciones, no validados como dispositivos sanitarios y dificultad para verificar precisión
 Visión por computadora	Análisis automatizado de imágenes y video	Detección de expresiones de dolor y análisis de patrones de movimiento	Evaluación objetiva y monitoreo continuo	Sensible a condiciones ambientales y variabilidad individual
 Sistemas expertos	Reglas basadas en conocimiento sanitario	Sistemas de apoyo a decisiones y guías de tratamiento	Transparente, basado en conocimiento sanitario establecido	Rígido y requiere actualización manual

Figura 1. Esquema general de la inteligencia artificial aplicada al abordaje del dolor.

Machine learning (Aprendizaje automático)

El *machine learning* constituye la base tecnológica más ampliamente utilizada en aplicaciones de inteligencia artificial para dolor, presente en más del 80% de los estudios analizados en revisiones sistemáticas recientes (Antel et al., 2024). Esta tecnología permite a los sistemas aprender patrones a partir de datos sin ser explícitamente programados para cada tarea específica, de forma análoga a como los filtros de correo electrónico aprenden a distinguir spam de mensajes legítimos a partir de ejemplos previos. En el contexto del dolor, estos algoritmos pueden identificar combinaciones de variables clínicas que predicen, por ejemplo, qué pacientes tienen mayor riesgo de desarrollar dolor crónico tras una cirugía. Dentro del *machine learning* existen tres modalidades: aprendizaje supervisado, aprendizaje no supervisado y aprendizaje por refuerzo.



El **aprendizaje supervisado** representa la modalidad más común, donde los algoritmos aprenden a partir de ejemplos etiquetados para predecir resultados específicos. Los algoritmos más utilizados incluyen *support vector machines*, que han demostrado precisiones entre 90,94% y 96,97% en aplicaciones de clasificación de dolor (Panavaranan & Wongsawat, 2013; Gruss et al., 2015). *Random forest*, que ha emergido como el algoritmo con mejor rendimiento general logrando un área bajo la curva (AUC, por sus siglas en inglés) mediano de 0,81 en aplicaciones de dolor oncológico (Salama et al., 2024). Y regresión logística, ampliamente utilizada para predicción de resultados binarios. Es importante contextualizar que estos valores de AUC proceden mayoritariamente de estudios con validación interna y pueden no ser reproducibles en poblaciones diferentes a las de entrenamiento.

El **aprendizaje no supervisado** se utiliza para identificar patrones ocultos en datos sin etiquetas predefinidas, incluyendo *clustering* para identificación de fenotipos de dolor, análisis de componentes principales para reducción de dimensionalidad y detección de anomalías para identificación de patrones atípicos que pueden indicar exacerbaciones de dolor.

El **aprendizaje por refuerzo** representa una modalidad emergente particularmente prometedora para personalización adaptativa de tratamientos, donde los sistemas aprenden a través de interacciones continuas con el ambiente, optimizando estrategias de tratamiento basándose en respuestas del paciente a lo largo del tiempo. Sin embargo, su aplicación en dolor se encuentra aún en fase preclínica y carece de evidencia clínica robusta.



Deep learning (Aprendizaje profundo)

El *deep learning* ha demostrado capacidades notables en el análisis de datos complejos y no estructurados relevantes para el abordaje del dolor (LeCun et al., 2015). A diferencia del machine learning clásico, el deep learning utiliza redes neuronales con múltiples capas de procesamiento que extraen automáticamente las características relevantes de los datos. Un ejemplo cotidiano es el reconocimiento facial que desbloquea un teléfono móvil. Las redes neuronales convolucionales, un tipo de deep learning especializado en el análisis de imágenes, han demostrado precisión superior al 80% en diagnóstico de cambios degenerativos espinales a través de análisis automatizado de resonancia magnética (Srinivasan et al., 2024). Incluyendo la detección automatizada de hernias discales, cuantificación de estenosis espinal e identificación de patrones de activación cerebral. No obstante, estos resultados se han obtenido en bases de datos curadas que no reflejan la diversidad y el ruido presentes en los datos clínicos reales.

Las redes neuronales recurrentes y las redes de memoria a largo plazo han mostrado utilidad en análisis de datos secuenciales como variabilidad del ritmo cardíaco para detección de dolor agudo, patrones electroencefalográficos en dolor crónico y análisis de patrones respiratorios durante episodios de dolor.



Procesamiento de lenguaje natural y modelos de lenguaje grande



El procesamiento de lenguaje natural, la tecnología que permite a los asistentes virtuales como Siri o Alexa comprender instrucciones habladas, ha emergido como una herramienta relevante para extraer información sobre dolor a partir de registros médicos electrónicos y reportes de pacientes (Rajwal, 2024). Los sistemas pueden extraer automáticamente información sobre intensidad y características del dolor, respuestas a tratamientos, factores desencadenantes y moduladores, y comorbilidades relevantes.

Desde su popularización en 2023, los modelos de lenguaje grande (LLMs, por sus siglas en inglés) actuales como GPT-5.3, Gemini 3.1 o Claude Opus 4.6 han ampliado significativamente las capacidades del procesamiento de lenguaje natural en el ámbito sanitario. Estos modelos pueden generar resúmenes clínicos, facilitar la comunicación con pacientes, y producir materiales educativos personalizados sobre dolor. Desde la perspectiva del profesional, los LLMs pueden asistir en la síntesis de evidencia, la elaboración de informes clínicos y la preparación de materiales educativos adaptados al nivel de cada paciente. Desde la perspectiva del paciente, es una realidad creciente que cada vez más personas consultan herramientas de IA generativa antes de acudir a atención sanitaria, buscando información sobre sus síntomas, opciones de tratamiento y pronóstico. Un estudio reciente ha explorado la capacidad de los LLMs para evaluar la experiencia de dolor crónico, mostrando resultados prometedores, pero también limitaciones significativas en la comprensión del contexto individual del paciente (Amidei et al., 2025). Sin embargo, su uso en contextos clínicos plantea riesgos específicos, como la generación de información incorrecta pero plausible (denominada “alucinaciones”, es decir, respuestas que parecen correctas, pero contienen errores factuales), la ausencia de validación como dispositivos sanitarios, y la dificultad para verificar la precisión de sus respuestas en escenarios clínicos complejos. Hasta la fecha, ningún LLM ha sido certificado como dispositivo sanitario para el manejo del dolor.



Visión por computadora

La visión por computadora, la tecnología que permite a los coches autónomos reconocer peatones y señales de tráfico, ha demostrado potencial para la evaluación objetiva del dolor a través del análisis automatizado de expresiones faciales, postura corporal y patrones de movimiento (Fang et al., 2025). Los sistemas pueden detectar microexpresiones indicativas de dolor (es decir, cambios sutiles y breves en la musculatura facial que pueden pasar desapercibidos al observador humano) con precisiones reportadas entre el 90% y el 97% en entornos de investigación controlados. Siendo potencialmente útiles en pacientes pediátricos, personas con demencia, pacientes en cuidados intensivos y en la evaluación objetiva en investigación clínica. Sin embargo, estos valores de precisión se han obtenido mayoritariamente en bases de datos estandarizadas (como UNBC-McMaster Pain Archive) y su rendimiento en condiciones clínicas reales, con variabilidad de iluminación, posición y expresión cultural del dolor, puede ser sustancialmente inferior.

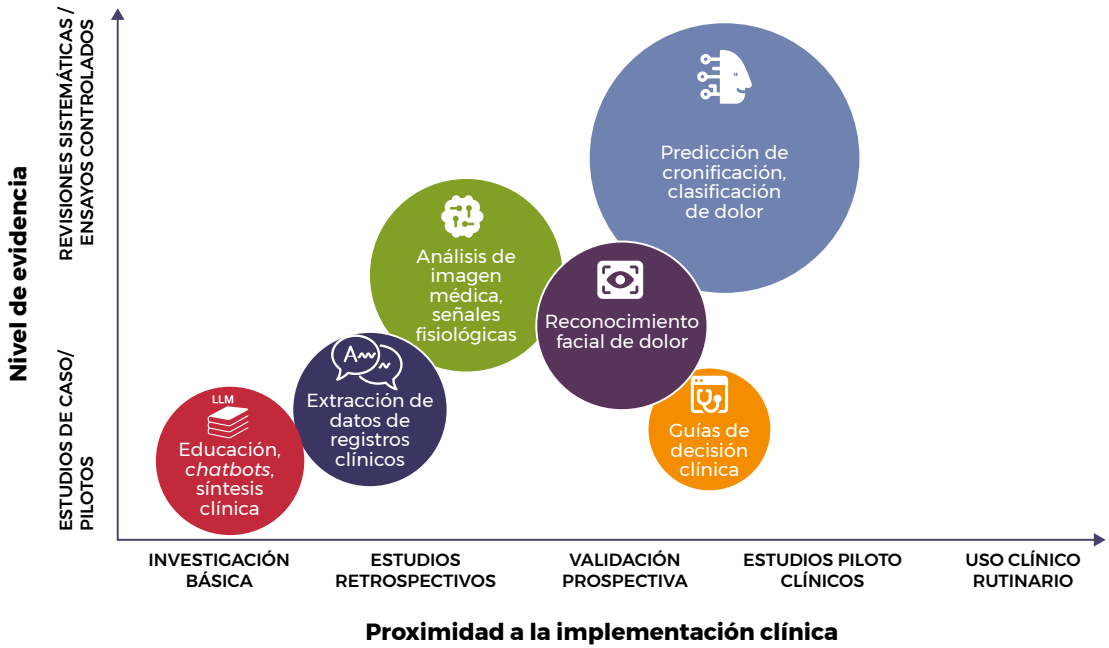








Sistemas expertos

Los sistemas expertos representan la forma más temprana de inteligencia artificial aplicada a la medicina. A diferencia de los enfoques basados en aprendizaje, estos sistemas funcionan mediante reglas lógicas definidas explícitamente por especialistas clínicos (por ejemplo: “si el paciente presenta dolor neuropático y no responde a gabapentina, considerar duloxetine”). Un ejemplo cotidiano sería un sistema de triaje telefónico que, mediante preguntas estructuradas, clasifica la urgencia de una consulta. En el campo del dolor, los sistemas expertos se utilizan en guías de apoyo a la decisión clínica para la prescripción de analgésicos, algoritmos de triaje en atención primaria y protocolos de manejo escalonado. Su principal ventaja es la transparencia, cada recomendación puede rastrearse hasta la regla que la generó, pero son rígidos, requieren actualización manual cuando cambia la evidencia y no pueden adaptarse a patrones inesperados en los datos.

Una vez presentados todos los tipos de inteligencia artificial, debemos considerar que no todos están al mismo nivel en evidencia científica ni de implementación clínica. La Figura 2 representa dichos niveles.

Figura 2. Taxonomía de tipos de inteligencia artificial y nivel de madurez de sus aplicaciones en dolor.



-  Modelos de lenguaje grande
-  Visión por computadora
-  Procesamiento de lenguaje natural
-  Machine learning
-  Deep learning
-  Sistemas expertos

El tamaño de burbuja indica el volumen relativo de publicaciones.



REGULACIONES Y DESAFÍOS ÉTICOS

MARCO REGULATORIO ACTUAL

La regulación de sistemas de inteligencia artificial en el abordaje del dolor presenta desafíos únicos debido a la naturaleza adaptativa y evolutiva de estas tecnologías. El panorama regulatorio se ha transformado significativamente con la entrada en vigor de nuevas normativas a nivel global.

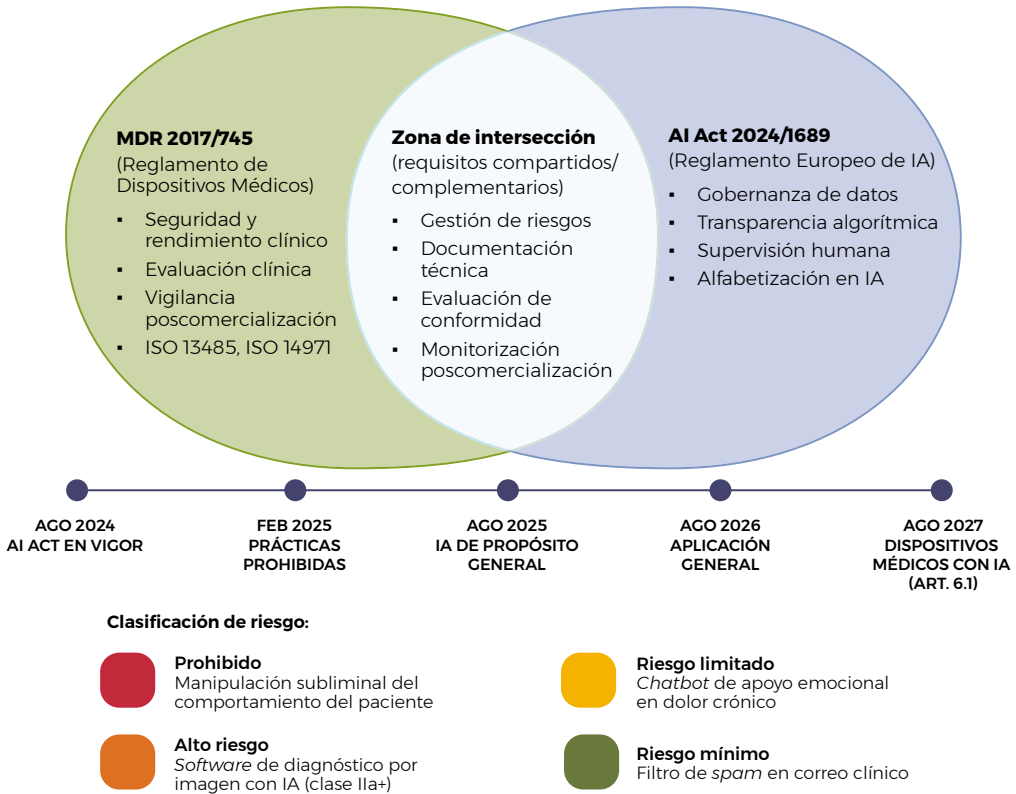
La administración de alimentos y medicamentos (*FDA*, por sus siglas en inglés) ha establecido el programa “*Software as Medical Device*” (*SaMD*), que incluye un marco de acción específico para la inteligencia artificial y el *machine learning* (*FDA*, 2021). Este marco contempla la evaluación continua de algoritmos que aprenden de datos nuevos, un desafío regulatorio sin precedentes en la historia de los dispositivos médicos.

En Europa, el reglamento europeo de inteligencia artificial (Reglamento UE 2024/1689), conocido como *AI Act*, entró en vigor en agosto de 2024 y constituye el primer marco legislativo integral para la regulación de la inteligencia artificial a nivel mundial. Este reglamento es particularmente relevante para las aplicaciones de IA en dolor porque clasifica como sistemas de alto riesgo a los dispositivos médicos con IA que requieren evaluación de conformidad por un organismo notificado, lo que incluye la mayoría de los dispositivos de clase IIa o superior según el reglamento de dispositivos médicos (*MDR*, por sus siglas en inglés). Las obligaciones para los sistemas de alto riesgo incluyen gestión de riesgos algorítmicos, gobernanza de datos, documentación técnica exhaustiva, transparencia, supervisión humana y monitorización poscomercialización. La aplicación completa de estas obligaciones para dispositivos médicos con IA está prevista para agosto de 2027.

El *AI Act* introduce además una clasificación por niveles de riesgo que afecta directamente a las aplicaciones en dolor: los sistemas de reconocimiento emocional (como los de detección facial de dolor) están sujetos a requisitos de transparencia específicos, mientras que los *chatbots* con IA deben informar al usuario de que interactúan con un sistema automatizado (Figura 3).

Los desafíos regulatorios específicos incluyen la validación continua de sistemas que aprenden continuamente, la transparencia algorítmica requerida para algoritmos de “caja negra” y la demostración de que sistemas entrenados en una población funcionan efectivamente en poblaciones diversas.

Figura 3. Marco regulatorio dual para dispositivos médicos con inteligencia artificial en la Unión Europea.



CONSIDERACIONES ÉTICAS FUNDAMENTALES

La implementación de inteligencia artificial en el abordaje del dolor plantea cuestiones éticas que deben considerarse de forma integrada en cada aplicación, no como un apartado independiente.

La **preservación de la autonomía del paciente** requiere transparencia sobre el uso de sistemas de inteligencia artificial, comprensión clara de capacidades y limitaciones, mantenimiento del derecho a rechazar recomendaciones de inteligencia artificial, y preservación de la relación profesional-paciente como elemento central del cuidado. Estas consideraciones son especialmente relevantes cuando los chatbots de IA se utilizan para apoyo emocional en pacientes con dolor crónico, donde el riesgo de dependencia tecnológica y la sustitución inadecuada de la relación terapéutica merecen atención particular.



Los **sesgos algorítmicos** representan un riesgo concreto. Los sistemas de inteligencia artificial pueden perpetuar y amplificar disparidades existentes relacionadas con raza, género y factores socioeconómicos en la evaluación y tratamiento del dolor. Dado que los conjuntos de datos de entrenamiento reflejan las prácticas clínicas históricas, donde está documentada la infraevaluación del dolor en poblaciones minoritarias, los modelos pueden incorporar estos sesgos de forma opaca.

La **protección de datos personales** debe cumplir con regulaciones como el reglamento general de protección de datos de la Unión Europea y la ley de portabilidad y responsabilidad del seguro médico de Estados Unidos, implementar seguridad cibernética robusta, y asegurar consentimiento informado apropiado. Las preguntas sobre responsabilidad cuando los sistemas proporcionan recomendaciones incorrectas involucran tanto responsabilidad clínica como responsabilidad del desarrollador, un área jurídica aún en desarrollo.

APLICACIONES EN DOLOR

USOS EN EVALUACIÓN Y TRATAMIENTO

Evaluación objetiva del dolor

La evaluación "objetiva" de la experiencia dolorosa, entendida como la cuantificación de aspectos relacionados con el dolor mediante indicadores fisiológicos, conductuales o de neuroimagen que no dependen exclusivamente del autoinforme verbal del paciente, representa una de las aplicaciones más estudiadas de la inteligencia artificial, abordando directamente las limitaciones de las escalas subjetivas tradicionales como la escala visual analógica o la escala numérica del dolor.

El **reconocimiento automático de dolor facial** ha alcanzado precisiones reportadas superiores al 90% en entornos controlados de investigación utilizando algoritmos de *deep learning* (Cao et al., 2024). Sin embargo, como señala un metaanálisis reciente, existe una heterogeneidad extrema entre estudios y un alto riesgo de sesgo en la mayoría de las publicaciones. La implementación clínica real sigue siendo limitada, aunque muestra particular potencial en unidades de cuidados intensivos, pediatría y geriatría, donde la comunicación verbal del dolor es difícil o imposible.

El **análisis de señales fisiológicas** utiliza *machine learning* para detectar estados de dolor a través de múltiples parámetros fisiológicos. Jiang et al. (2017) reportaron un AUC de 0,82 utilizando análisis

de variabilidad del ritmo cardíaco, específicamente, parámetros en el dominio del tiempo y de la frecuencia, obtenidos mediante dispositivos *wearables* para monitoreo de dolor agudo en tiempo real. Otros parámetros investigados en diferentes estudios incluyen actividad electrodermal (conductancia de la piel), patrones respiratorios (frecuencia y profundidad), y actividad electroencefalográfica (potencia espectral en bandas beta y gamma), aunque la mayoría de estos sistemas se encuentran en fase experimental.

El **análisis multimodal** integra múltiples modalidades de datos para mejorar la precisión de evaluación del dolor, combinando expresiones faciales con señales fisiológicas, datos de movimiento con reportes verbales y datos de dispositivos *wearables* con evaluaciones clínicas. Este enfoque es prometedor desde el punto de vista teórico, pero aún no ha sido validado en ensayos clínicos a gran escala.

Diagnóstico asistido por inteligencia artificial

Los sistemas de inteligencia artificial han mostrado capacidades prometedoras en el diagnóstico de condiciones dolorosas, aunque la mayoría de la evidencia procede de estudios retrospectivos con limitaciones metodológicas significativas.

En diagnóstico de patología espinal, los algoritmos de *deep learning* han mostrado precisión superior al 80% en el diagnóstico de cambios degenerativos espinales (Ryu et al., 2025), incluyendo detección automatizada de hernias discales y cuantificación de estenosis. Estos resultados son prometedores, pero deben interpretarse con cautela: el valor clínico añadido sobre la interpretación radiológica convencional no ha sido establecido en estudios comparativos prospectivos.

Para diagnóstico de dolor neuropático, los sistemas analizan patrones de síntomas reportados, integran resultados de estudios de conducción nerviosa y evalúan patrones de distribución del dolor.

El diagnóstico diferencial asistido por IA de condiciones dolorosas complejas (fibromialgia, dolor miofascial vs. neuropático, cefaleas primarias vs. secundarias) se encuentra en fases iniciales de investigación.

PREDICCIÓN Y PRONÓSTICO

La capacidad predictiva de los sistemas de inteligencia artificial representa una de sus aplicaciones con mayor potencial clínico, aunque también una de las que mayor distancia presenta entre promesa y evidencia.

Los **modelos de predicción de cronificación del dolor** han demostrado capacidad moderada para identificar pacientes en riesgo de desarrollar dolor crónico. Una revisión sistemática de modelos predictivos de dolor posquirúrgico crónico encontró un C-index agrupado de 0,79, aunque



con heterogeneidad significativa entre estudios y un AUC de 0,76 en los modelos con validación externa (Papadomanolakis-Pakis et al., 2024). Estos valores, si bien estadísticamente significativos, tienen una utilidad clínica incremental que aún debe ser demostrada.

La **predicción de respuestas a tratamientos** es un área activa de investigación que incluye farmacoterapia basada en características del paciente, identificación de candidatos óptimos para intervenciones invasivas, y optimización de regímenes terapéuticos para medicina personalizada. La revisión de Sajdeya y Narouze (2024) identificó modelos que utilizan biomarcadores predictivos, factores de riesgo modificables y firmas fenotípicas para estratificar pacientes, aunque señaló que la evidencia es insuficiente para evaluar la fiabilidad, generalizabilidad y seguridad de estos enfoques antes de su integración clínica.

PERSONALIZACIÓN DE TRATAMIENTOS

La personalización representa una de las aplicaciones más prometedoras, pero también más inmaduras de la inteligencia artificial. La optimización de dosis de medicamentos que considera farmacocinética individual, historial de respuestas previas, interacciones medicamentosas potenciales y riesgo de efectos adversos específicos es conceptualmente atractiva, pero requiere validación clínica rigurosa antes de su implementación.

Los programas de rehabilitación personalizados que utilizan análisis de patrones de movimiento individuales, adaptación basada en progreso funcional e integración de factores psicosociales representan un área con potencial particular para la fisioterapia y la rehabilitación, aunque la evidencia de superioridad sobre programas individualizados por clínicos experimentados aún no se ha establecido.

CHATBOTS Y ASISTENTES VIRTUALES PARA APOYO EMOCIONAL

Fundamentos de asistentes virtuales en dolor

Los *chatbots* y asistentes virtuales representan una aplicación emergente de la inteligencia artificial en el abordaje del dolor (Patel et al., 2024). Los sistemas modernos utilizan procesamiento de lenguaje natural para comprensión de consultas, bases de conocimiento médico integradas, e interfaces conversacionales. Con la llegada de los LLMs, las capacidades conversacionales se han ampliado sustancialmente, permitiendo interacciones más naturales y contextualmente relevantes.

Las capacidades específicas para dolor incluyen educación sobre condiciones específicas, guía de técnicas de manejo y relajación, monitoreo de síntomas y patrones, facilitación de comunicación con equipos de cuidado y apoyo emocional con estrategias de afrontamiento.

Es necesario señalar que el uso de *chatbots* para apoyo emocional en pacientes con dolor crónico plantea cuestiones éticas específicas: el riesgo de que los pacientes desarrollen dependencia de interacciones con IA en detrimento de relaciones humanas terapéuticas, las limitaciones de los sistemas actuales para detectar crisis emocionales o ideación suicida, y la ausencia de regulación específica sobre el nivel de supervisión clínica requerido para estos sistemas.

Tabla 2. Intervenciones de *chatbots* para apoyo emocional en dolor.

TIPO DE INTERVENCIÓN	TÉCNICAS UTILIZADAS	POBLACIÓN OBJETIVO	ESTADO DE LA EVIDENCIA
Terapia cognitivo-conductual	Reestructuración cognitiva y técnicas de afrontamiento	Dolor crónico general	Estudios piloto con resultados positivos en catastrofización. Se necesitan ensayos controlados a gran escala
Mindfulness y relajación	Meditación guiada y respiración	Fibromialgia y dolor lumbar	Evidencia preliminar favorable en calidad de vida. Duración óptima de la intervención no establecida
Educación sobre dolor	Información personalizada y neurofisiología	Pacientes recién diagnosticados	Mejoras en autoeficacia reportadas en estudios no controlados. Necesaria comparación con educación presencial
Apoyo en crisis	Técnicas de emergencia y escalación	Dolor severo episódico	Evidencia muy limitada. Preocupaciones éticas sobre seguridad del paciente sin supervisión humana directa
Seguimiento de síntomas	Monitoreo diario y análisis de patrones	Todos los tipos de dolor	Mejoras en adherencia terapéutica reportadas. Efecto sobre resultados clínicos a largo plazo no establecido



EVIDENCIA Y CASOS DE ÉXITO

MODELOS APLICADOS A SALUD Y DOLOR

Evidencia de revisiones sistemáticas

La evidencia científica sobre la eficacia de sistemas de inteligencia artificial en el abordaje del dolor ha crecido exponencialmente en los últimos años, pero su calidad metodológica presenta limitaciones importantes que deben condicionar la interpretación de los resultados (véase Tabla 3).

La revisión sistemática de Antel et al. (2024) analizó 197 estudios sobre aplicaciones de inteligencia artificial en manejo del dolor agudo y crónico. Identificando diversidad de aplicaciones que abarcaron predicción del dolor, pronóstico de respuestas individualizadas, personalización de regímenes terapéuticos, guía por imágenes para intervenciones, y herramientas de autogestión. Las principales barreras identificadas incluyeron falta de validación en poblaciones diversas, infraestructura insuficiente, y comprensión limitada de inteligencia artificial por parte de proveedores.

La revisión específica de dolor oncológico de Salama et al. (2024) analizó 44 estudios proporcionando métricas detalladas. Los estudios de clasificación post-terapia lograron un *AUC* mediano de 0,80 (rango 0,76-0,94), los de investigación de dolor reportaron *AUC* mediano de 0,86 (rango 0,50-0,99) y los de manejo clínico mostraron *AUC* mediano de 0,71 (rango 0,47-0,89). Significativamente, solo el 70,7% de estudios mostraron adherencia adecuada a guías TRIPOD con alto riesgo de sesgo en el 77,3% de estudios.

La revisión *de alcance* de Seas et al. (2025) sobre dolor lumbar analizó 223 estudios e identificó que, de los 212 artículos de aprendizaje supervisado, solo el 54,7% utilizaron validación cruzada, apenas 8 incluyeron validación externa y solo 9 publicaron código disponible. La conclusión más relevante fue que más del 95% de los artículos no son reproducibles, un hallazgo que debe considerarse al evaluar cualquier afirmación sobre la eficacia de la IA en dolor.

Tabla 3. Resumen de revisiones sistemáticas sobre inteligencia artificial en dolor.

AUTOR/ AÑO	TIPO DE REVISIÓN	PERÍODO	N° ESTUDIOS	POBLACIÓN	HALLAZGOS PRINCIPALES	CALIDAD
Antel et al. (2024)	Siste- mática	2010-2024	197	Dolor agudo y crónico	4 aplicaciones principales; barreras de implementación	Moderada
Salama et al. (2024)	Siste- mática	2006- 2023	44	Dolor oncológico	AUC 0,71-0,94; alto riesgo de sesgo 77,3%	Baja- Moderada
Seas et al. (2025)	Scoping	1988-2023	223	Dolor lumbar	ML en 106 estudios; >95% no reproducibles	Baja
Fang et al. (2025)	Narrativa	2015-2024	156	Detección de dolor	Precisión 90-97% en reconocimiento facial	Moderada
Sajdeya & Narouze (2024)	Narrativa	2003- 2024	56	Dolor post- operatorio	Modelos ML con rendimiento satisfactorio; fiabilidad por demostrar	Moderada
Papado- manola- kis- Pakis et al. (2024)	Siste- mática	2016-2024	17	Dolor post- quirúrgico agudo	AUC 0,65-0,90; alto riesgo de sesgo en todos los modelos	Moderada

MODELOS ESPECÍFICOS CON EVIDENCIA

Los modelos de predicción de dolor postoperatorio constituyen el área con mayor volumen de investigación. El modelo POPS de Liu et al. (2023), desarrollado con datos de registros clínicos electrónicos de 234.274 pacientes en un estudio multicéntrico, logró un AUC de 0,73-0,79 para predicción de dolor moderado postoperatorio y demostró rendimiento superior a las predicciones clínicas convencionales en una cohorte prospectiva de validación. Este estudio es notable por su escala, validación externa y disponibilidad del método, aunque mostró una degradación de la calibración entre las cohortes retrospectiva y prospectiva. El sistema de Tighe et al. (2015) utilizó datos clínicos de alta dimensionalidad para



predecir dolor postoperatorio agudo, alcanzando un rendimiento del 72% con modelos de *random forest*, y fue pionero en demostrar la utilidad del *machine learning* en este contexto.

La revisión de Papadomanolakis-Pakis et al. (2024) sobre modelos de predicción de dolor postquirúrgico agudo identificó múltiples modelos con AUC entre 0,65 y 0,90, pero todos presentaron alto riesgo de sesgo según la herramienta PROBAST y ninguno había sido implementado en la práctica clínica rutinaria.

IMPLEMENTACIÓN CLÍNICA: ESTADO ACTUAL Y PERSPECTIVAS

Varias instituciones de referencia han iniciado programas de implementación de inteligencia artificial para el manejo del dolor, aunque la evidencia publicada sobre estos programas es limitada y procede principalmente de comunicaciones institucionales, informes técnicos y estudios piloto, no de ensayos controlados publicados en revistas revisadas por pares.

Los programas más visibles incluyen iniciativas en centros académicos de Estados Unidos que integran predicción de riesgo basada en registros electrónicos, personalización de tratamientos, e integración de datos de dispositivos *wearables*. Sin embargo, la literatura sobre implementación real de IA en dolor revela que la transición desde modelos experimentales hacia integración clínica sostenible enfrenta barreras sustanciales: interoperabilidad con sistemas existentes, aceptación por parte de clínicos y pacientes, costes de implementación y mantenimiento, y la necesidad de monitorización continua del rendimiento algorítmico.

FACTORES CRÍTICOS DE ÉXITO Y FRACASO

La literatura sobre implementación de IA en entornos sanitarios reales ha identificado tanto factores facilitadores como barreras comunes. El liderazgo organizacional, la colaboración interdisciplinaria entre clínicos y desarrolladores, y la disponibilidad de datos de calidad son requisitos recurrentes en las implementaciones exitosas.

Entre los factores de fracaso más frecuentes se encuentran: la sobrestimación de las capacidades de los modelos basándose en métricas de rendimiento interno, la falta de integración con flujos de trabajo clínicos existentes, la resistencia al cambio cuando los profesionales no participan en el diseño y la ausencia de planes de contingencia para fallos del sistema. La llamada "*AI chasm*", la brecha entre el rendimiento demostrado en publicaciones y la utilidad en la práctica real, es un fenómeno bien documentado que debe considerarse al evaluar cualquier implementación.

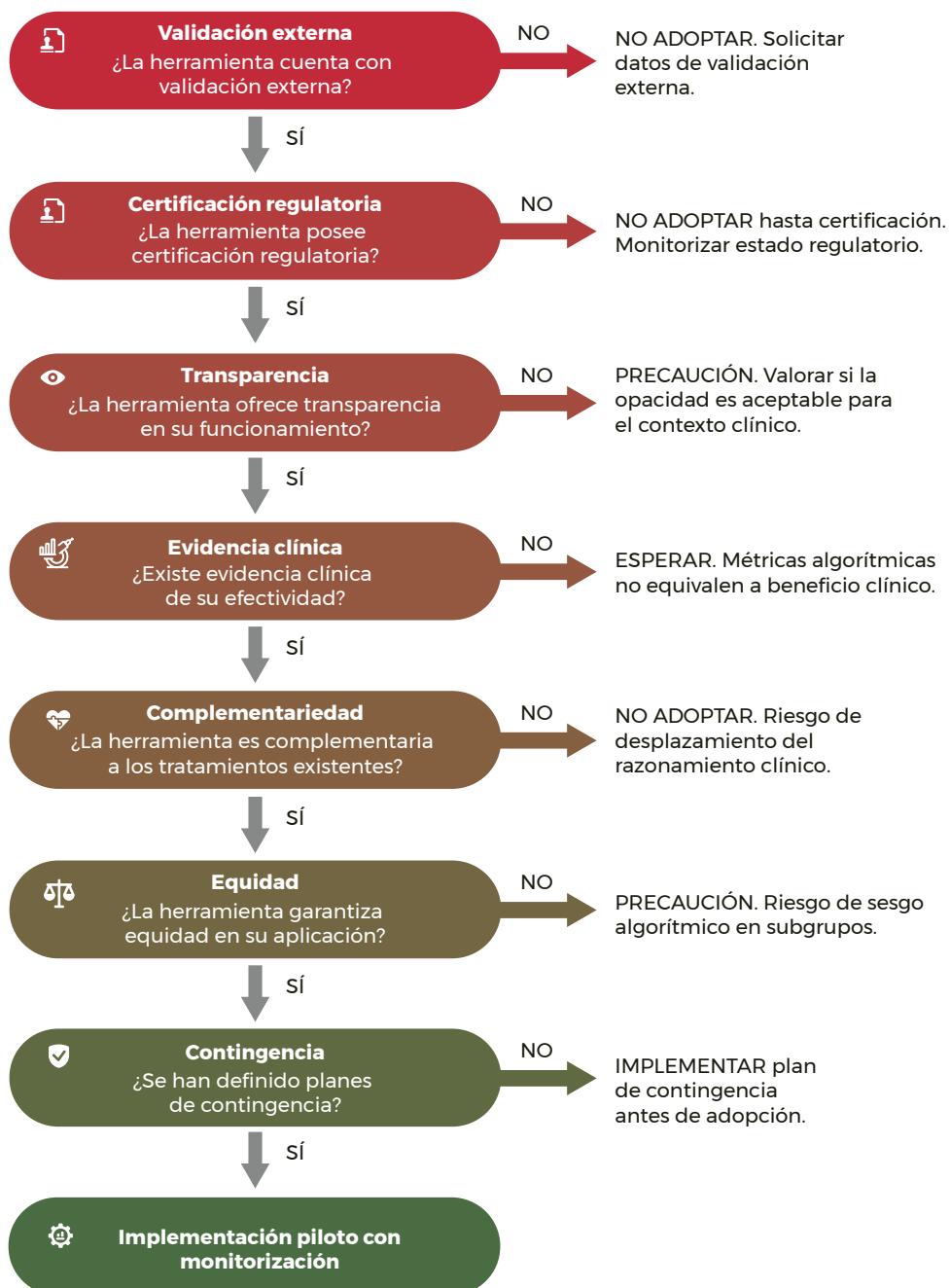
MARCO DECISIONAL PARA LA PRÁCTICA CLÍNICA

Para que los profesionales sanitarios puedan evaluar de forma informada la pertinencia de incorporar herramientas de inteligencia artificial en su práctica, se propone considerar los siguientes criterios antes de adoptar cualquier sistema de IA en el manejo del dolor (Figura 4):

1. **Validación:** ¿ha sido el sistema validado externamente en una población comparable a la del contexto clínico de uso? Los sistemas validados únicamente de forma interna presentan un riesgo elevado de sobreajuste.
2. **Regulación:** ¿cuenta el sistema con la certificación regulatoria pertinente (marcado CE como dispositivo médico bajo MDR, aprobación FDA) y, en su caso, ha sido evaluado como sistema de alto riesgo bajo el AI Act?
3. **Transparencia:** ¿permite el sistema comprender las bases de sus recomendaciones, o funciona como una “caja negra”? En el contexto clínico, la interpretabilidad es un requisito para la toma de decisiones informada.
4. **Evidencia clínica:** ¿existe evidencia publicada en revistas revisadas por pares de que el sistema mejora resultados centrados en el paciente (no solo métricas de rendimiento algorítmico)?
5. **Complementariedad:** ¿se presenta el sistema como herramienta de apoyo al juicio clínico o pretende sustituirlo? Los sistemas que complementan la evaluación profesional son preferibles a los que proponen automatización completa.
6. **Equidad:** ¿ha sido evaluado el sistema en poblaciones diversas, incluyendo grupos que históricamente han sufrido disparidades en el manejo del dolor?
7. **Contingencia:** ¿existe un plan claro para el manejo de pacientes cuando el sistema falla, produce resultados contradictorios o no está disponible?



Figura 4. Marco decisonal para la evaluación de herramientas de inteligencia artificial en dolor.



CONCLUSIONES

La inteligencia artificial representa una revolución tecnológica con potencial significativo para el abordaje del dolor, pero la evidencia actual requiere una interpretación cautelosa y crítica.

HALLAZGOS CLAVE

Las aplicaciones de inteligencia artificial en el abordaje del dolor han demostrado resultados prometedores en evaluación objetiva del dolor, predicción de resultados clínicos y personalización de tratamientos (Figura 5). Los modelos predictivos han mostrado capacidad moderada para identificar pacientes en riesgo con AUC entre 0,65 y 0,90, aunque con alta variabilidad entre estudios y limitada validación externa.

LIMITACIONES FUNDAMENTALES

La evidencia revela limitaciones que deben condicionar cualquier decisión de implementación. El alto riesgo de sesgo en la mayoría de los estudios (77,3%), la ausencia de validación externa en el 86% de las publicaciones, y la imposibilidad de reproducir más del 95% de los estudios representan barreras metodológicas que impiden considerar la evidencia actual como suficiente para una adopción generalizada. La distancia entre los valores de AUC reportados en publicaciones y la utilidad clínica incremental real sigue siendo un área de incertidumbre.

DIRECCIONES FUTURAS

Las direcciones más prometedoras incluyen la integración multimodal de datos, el desarrollo de sistemas más interpretables y explicables, la implementación de marcos de validación continua, y la armonización regulatoria entre el MDR/IVDR y el *AI Act* europeo. La colaboración interdisciplinaria entre clínicos, científicos de datos, éticistas y reguladores será crítica para desarrollar sistemas que sean tanto técnicamente sofisticados como clínicamente útiles y éticamente apropiados.

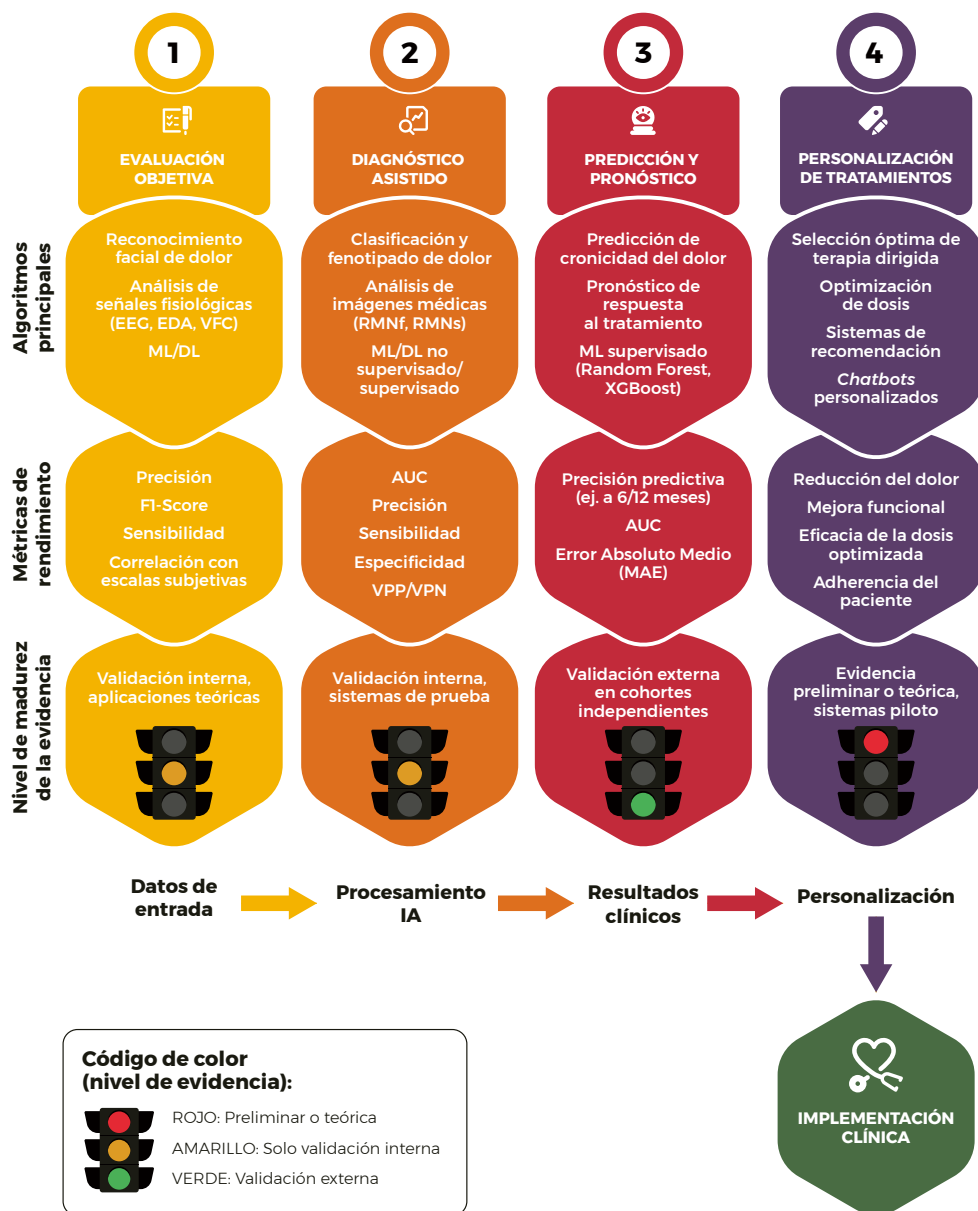
IMPLICACIONES PARA LA PRÁCTICA CLÍNICA

Para la práctica clínica actual, la inteligencia artificial debe ser vista como una herramienta de apoyo que complementa, no reemplaza, el juicio clínico y la relación profesional-paciente. Los clínicos deben desarrollar competencias en inteligencia artificial suficientes para evaluar críticamente estas herramientas, incluyendo la capacidad de interpretar métricas de rendimiento, reconocer las limitaciones de la evidencia disponible, y aplicar los criterios del marco decisional propuesto (Figura 4). La implementación exitosa requiere enfoques graduales, participación



activa de los profesionales en el diseño, y sistemas de monitoreo continuo de calidad y seguridad.

Figura 5. Aplicaciones clínicas de la inteligencia artificial en el dolor: de la evaluación a la personalización.



La inteligencia artificial para el abordaje del dolor se encuentra en un momento crítico donde las decisiones sobre investigación, regulación e implementación determinarán si estas tecnologías cumplen su promesa. La evidencia actual proporciona una base para optimismo cauteloso, pero subraya la necesidad de rigor metodológico, validación prospectiva y perspectiva crítica para realizar completamente el potencial transformador de la inteligencia artificial en este campo. •

**Síntesis de los avances clave y su impacto transformador:
hacia un ecosistema digital del dolor realmente operativo • 167**

De la herramienta aislada a la plataforma • 169

Salud digital: la base cultural y el marco funcional para la universalización • 169

Terapias digitales: la formalización regulatoria • 170

Monitorización: el flujo diagnóstico • 171

Realidad extendida (RX): el flujo terapéutico inmersivo • 172

La inteligencia artificial: el flujo para personalización de tratamientos • 173

El laboratorio digital del dolor:

la revolución en investigación y descubrimiento de fármacos • 175

Superando las barreras históricas de la evaluación analgésica • 176

Inteligencia artificial en la fase preclínica • 177

Hacia una nueva regulación en I+D • 177

Reflexión sobre los puntos fuertes y las limitaciones • 178

Fortalezas intrínsecas y mecanismos de acción • 178

Desafíos y consideraciones transversales para la práctica clínica • 179

**La innovación tecnológica como complemento, no sustituto,
del cuidado humano • 180**



CONSIDERACIONES FINALES Y FUTURO DE LA SALUD DIGITAL EN EL MANEJO DEL DOLOR

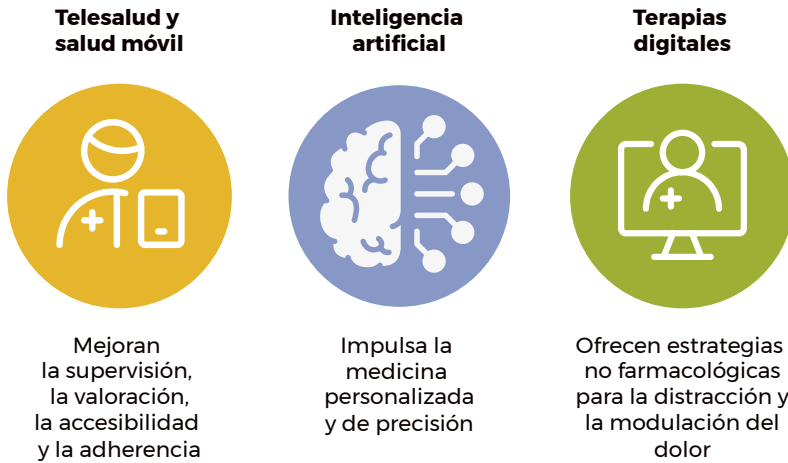
Eva Tordera Nuño y Rafael González Cano

Este capítulo final ofrece un resumen de cómo las tecnologías digitales ya están transformando el tratamiento del dolor, pasando de un modelo reactivo a uno proactivo y biopsicosocial que construye un ecosistema unificado centrado en las personas con dolor (Gatchel et al., 2007). Más que un cierre, este capítulo propone un marco integrador que permite comprender hacia dónde se dirige el abordaje del dolor en la era digital y qué condiciones son necesarias para que esta transformación sea clínica, científica y socialmente relevante.

El capítulo repasa las tecnologías (Figura 1) que ofrecen fundamentos para la valoración, el tratamiento y el seguimiento: la telesalud, la telemedicina y las aplicaciones de monitorización remota (*mHealth*), para mejorar la supervisión, la valoración, la accesibilidad y la adherencia (Bashshur et al., 2020; Keesara et al., 2020); la inteligencia artificial para impulsar la

medicina personalizada y de precisión (Meier et al., 2024; Topol, 2019); y las terapias digitales, incluyendo la realidad extendida, como estrategias no farmacológicas para la distracción y la modulación afectiva del dolor (Matamala-Gomez et al., 2019).

Figura 1. Tecnologías que ofrecen fundamentos para la valoración, el tratamiento y el seguimiento del dolor.



El capítulo plantea también posibles líneas de evolución que podrían mejorar el manejo del dolor mediante una mayor integración de los datos generados en las fases preclínicas y clínicas. En este sentido, la digitalización no solo está transformando la atención sanitaria, sino que comienza a influir en la investigación básica y en el desarrollo de nuevos tratamientos analgésicos, favoreciendo una mejor conexión entre los modelos experimentales y la experiencia clínica del dolor (Gerke et al., 2020).

A pesar de resaltar el innegable potencial de las tecnologías digitales, el capítulo enfatiza desafíos críticos como la necesidad de una validación clínica contextualizada y a largo plazo, así como el entrenamiento de modelos de inteligencia artificial que no reproduzcan los sesgos ya existentes en la práctica clínica (Wieczorek et al., 2023). Finalmente, se aboga por un futuro en el que la tecnología actúe como un complemento estratégico del cuidado humano, exigiendo regulación y gobernanza para mantener los datos contextualizados en la experiencia vital de las personas, así como una colaboración profunda entre todos los actores del sistema sanitario.



SÍNTESIS DE LOS AVANCES CLAVE Y SU IMPACTO TRANSFORMADOR: HACIA UN ECOSISTEMA DIGITAL DEL DOLOR REALMENTE OPERATIVO

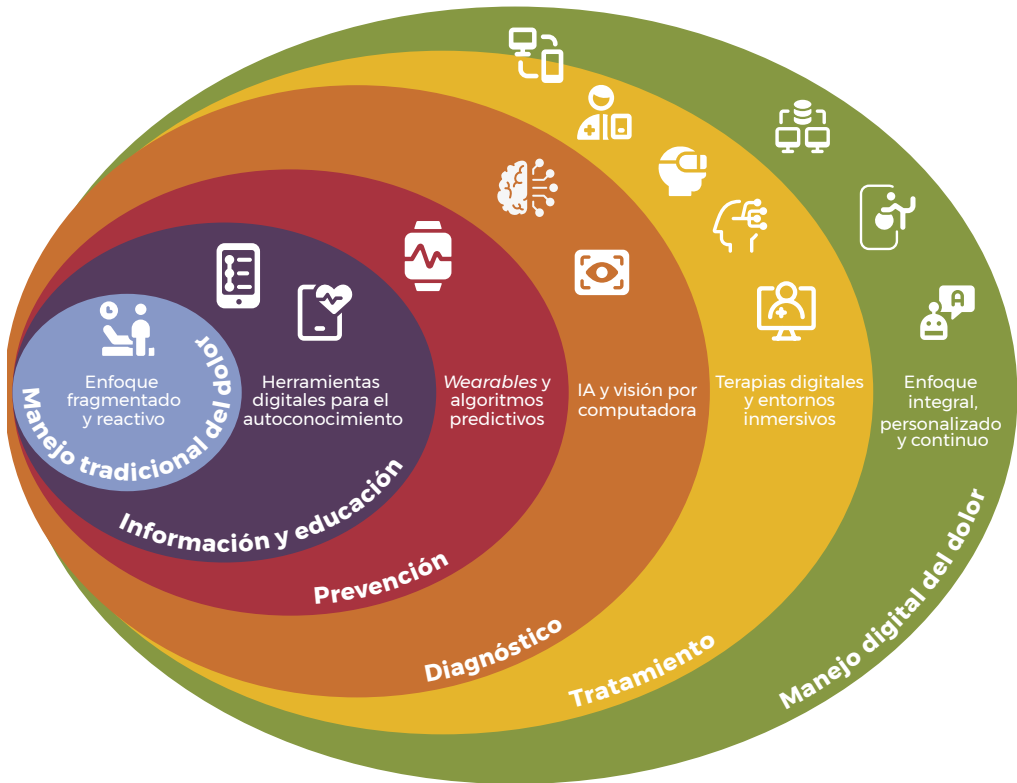
La digitalización aplicada al dolor ha evolucionado desde la mera incorporación de herramientas tecnológicas hasta una estructura coordinada que reorganiza la forma en que se evalúa, se trata y se acompaña a las personas con dolor. Para el profesional sanitario especializado en dolor, este ecosistema ofrece la oportunidad de pasar de un modelo de atención intermitente, universalizado y teórico a uno continuo, personalizado y basado en datos contextualizados (Mayol, 2024; Topol, 2019). Tradicionalmente dominado por modelos reactivos y centrados en la farmacología, el campo de la algología está transitando hacia enfoques proactivos, multimodales y anclados en el modelo biopsicosocial (Gatchel et al., 2007). En este contexto, las herramientas digitales se han convertido en catalizadores esenciales para facilitar el acceso, la personalización y la continuidad asistencial (Bashshur et al., 2020; Keesara et al., 2020).

En este marco, las tecnologías digitales se consolidan como un pilar estratégico para el desarrollo de modelos de atención más holísticos, equitativos y eficaces que reconocen la complejidad del dolor. Se trata de una condición de alta prevalencia, estimada en el 25,9 % de la población en España (Dueñas et al., 2025), y de carácter multidimensional, ya que incluye componentes biológicos, psicológicos y sociales. Desde una perspectiva clínica, estos instrumentos permiten ajustar las intervenciones al perfil individual de cada persona; desde una perspectiva organizativa, favorecen la continuidad asistencial y la coordinación entre niveles; y desde la experiencia del paciente, amplían el margen de autonomía y participación activa en el manejo del dolor.

Integradas en la relación entre el personal sanitario y las personas con dolor, estas herramientas favorecen intervenciones más ajustadas al perfil clínico, posibilitan un seguimiento dinámico de la evolución del dolor y abren la puerta a programas terapéuticos que pueden desarrollarse fuera del entorno hospitalario (Sociedad Española de Informática de la Salud, 2018). Asimismo, la disponibilidad de datos más robustos y contextualizados refuerza los procesos de toma de decisiones clínicas, favoreciendo intervenciones más oportunas, ajustadas y coherentes con la complejidad de la experiencia del dolor (Meier et al., 2024). Además, el uso de herramientas digitales facilita la creación de plataformas de comunicación que mejoran la coordinación entre niveles asistenciales.

La implementación efectiva de esta digitalización se articula mediante la interconexión de diversas modalidades de salud digital, entre ellas la telemedicina, la monitorización continua, la realidad extendida, las terapias digitales y la inteligencia artificial, configurando un ecosistema integrado orientado a la mejora de los resultados clínicos y organizativos (Figura 2).

Figura 2. Evolución hacia el manejo integral del dolor.





DE LA HERRAMIENTA AISLADA A LA PLATAFORMA



SALUD DIGITAL: LA BASE CULTURAL Y EL MARCO FUNCIONAL PARA LA UNIVERSALIZACIÓN

La salud digital es el concepto más amplio que abarca el conocimiento y la práctica relacionados con el desarrollo y el uso de tecnologías digitales para mejorar la salud (Shaw et al., 2017; World Health Organization, 2021). Su importancia radica en que establece el marco funcional y cultural que redefine la interacción entre profesionales y pacientes, bajo los principios de accesibilidad, personalización y equidad (European Commission, 2022).

La salud digital engloba todas las aplicaciones de las tecnologías de la información y la comunicación, incluyendo registros médicos electrónicos, sistemas de monitorización, análisis de grandes volúmenes de datos y prestación de servicios remotos (Granja et al., 2018). Dentro de esta jerarquía, la telesalud se refiere a la prestación de servicios de salud a distancia, incluyendo tanto actividades clínicas como no clínicas, como la educación médica continua (World Health Organization, 2022). A su vez, la telemedicina es un subconjunto de la telesalud que se centra en la prestación de servicios clínicos directos de diagnóstico, tratamiento y seguimiento cuando la distancia es un factor crítico (World Health Organization, 2024). La telerrehabilitación, como subespecialidad de la telemedicina, aplica estas tecnologías para optimizar la función de las personas con discapacidad, siendo especialmente relevante en el manejo del dolor crónico (WFNR Telerehabilitation SIG, 2025).

En la práctica clínica del dolor, esta jerarquía se traduce en modelos asistenciales híbridos que combinan presencialidad, seguimiento remoto y apoyo digital continuo, adaptándose a la evolución clínica y funcional de cada persona. Una de las principales ventajas de la salud digital es su capacidad para potenciar el empoderamiento de la persona con dolor, facilitando la gestión de la información sobre su condición, la autogestión de la enfermedad crónica y el apoyo emocional y social (Granja et al., 2018).

Tal como se introdujo en el primer capítulo de este libro, desde una perspectiva operativa, estas tecnologías pueden entenderse según su papel en el proceso asistencial: aquellas que permiten comprender mejor el estado del paciente, las que intervienen directamente en el dolor y las que sostienen la continuidad del cuidado. Este enfoque proporciona un marco sencillo y clínicamente relevante para el abordaje del dolor, mejora el acceso y la adherencia y facilita una atención multidisciplinar y continua (Meier et al., 2024). Su capacidad para reducir barreras geográficas

y temporales resulta especialmente relevante en el contexto del dolor crónico, que requiere un manejo sostenido y coordinado en el tiempo.



TERAPIAS DIGITALES: LA FORMALIZACIÓN REGULATORIA

Las terapias digitales (DTx) constituyen la formalización rigurosa de las intervenciones digitales. Se definen como intervenciones terapéuticas basadas en la evidencia, impulsadas por software de alta calidad, destinadas a prevenir, manejar o tratar enfermedades o trastornos (Digital Therapeutics Alliance, 2019). Este rigor las distingue de las aplicaciones de bienestar, las *wellness apps*. El valor de una DTx radica en su capacidad para generar una eficacia clínica demostrable, medible y sostenida.

Para ello, deben demostrar eficacia y seguridad en estudios clínicos controlados o pragmáticos, siguiendo guías metodológicas específicas para intervenciones digitales como CONSORT-EHEALTH, SPIRIT y sus extensiones para salud digital, que permiten describir con precisión los componentes de la intervención, el uso real, la adherencia y los resultados clínicos (Chan et al., 2021; Eysenbach, 2011; SPIRIT, 2013). Este marco metodológico es especialmente relevante dado que las DTx son consideradas *Software as a Medical Device*, un concepto armonizado internacionalmente por el International Medical Device Regulators Forum.

En la Unión Europea, una DTx requiere el marcado CE como producto sanitario de software, conforme al Reglamento (UE) 2017/745 y al Real Decreto 192/2023 en España. La mayoría de las DTx para el dolor se clasifican como de riesgo moderado-alto (Clase IIa o IIb). En este contexto, están definidas como intervenciones terapéuticas basadas en software que deben estar validadas mediante ensayos clínicos rigurosos y aprobadas por las agencias regulatorias, y ofrecen un nuevo vector de tratamiento.

La regulación se centra en el software con finalidad médica y no en el dispositivo en el que se ejecuta, ya sea un teléfono o unas gafas de realidad virtual. Ejemplos validados incluyen RelieVRx, un programa de realidad virtual autorizado por la *Food and Drug Administration* para el tratamiento del dolor lumbar crónico. El proceso regulatorio exige una clasificación de riesgos, la generación de evidencia clínica y una vigilancia continua post-comercialización. Esta formalización garantiza que las DTx se prescriban e integren en la práctica clínica bajo la supervisión de profesionales sanitarios.

Estas herramientas promueven un enfoque multifactorial de la salud, integrando la prevención y la autogestión, lo que permite una potencial reducción de la carga asistencial y una mejora en la relación coste-efectividad de los sistemas sanitarios.



MONITORIZACIÓN: EL FLUJO DIAGNÓSTICO

La monitorización digital implica un proceso continuo de registro, seguimiento y análisis de datos en tiempo real mediante sensores biomédicos, dispositivos portátiles (*wearables*) y aplicaciones móviles (*mHealth*). Este enfoque actúa como el brazo diagnóstico del ecosistema digital, complementando la información subjetiva tradicional, como escalas y cuestionarios, con datos objetivos, dinámicos y fisiológicos (Bradway et al., 2017; Insel, 2017).

Los *wearables* son dispositivos que se utilizan como accesorio y permiten monitorizar una gama creciente de datos biométricos. Por su parte, los sensores biomédicos detectan señales fisiológicas y las transforman en información digital cuantificable (Bronzino & Peterson, 2015). En el manejo del dolor, es posible registrar señales cardiovasculares, como la frecuencia cardíaca, que reflejan respuestas autonómicas asociadas al estrés y al dolor. Asimismo, los sensores de movimiento, como los acelerómetros, permiten analizar la actividad física, los patrones de marcha y el sedentarismo, considerados indicadores relevantes del impacto funcional del dolor crónico (Mattison et al., 2022; Sett et al., 2019). Otros biomarcadores incluyen la actividad electrodérmica y la conductancia de la piel, que se utilizan como marcadores de la respuesta fisiológica al dolor (Gouverneur et al., 2023).

Los datos procedentes de dispositivos sensoriales pueden integrarse con sistemas basados en aplicaciones móviles, que permiten recoger información en tiempo real sobre episodios de dolor, estados emocionales, estilos de vida y uso de medicación. Estas herramientas resultan especialmente útiles para el seguimiento de condiciones crónicas y el desarrollo de intervenciones personalizadas (Bradway et al., 2017). La posibilidad de monitorización en tiempo real facilita la toma de decisiones clínicas más ajustadas a situaciones concretas, al tiempo que promueve el empoderamiento de la persona mediante contenidos educativos y estrategias de autogestión.

La monitorización continua favorece el seguimiento individualizado y la detección precoz de cambios clínicos relevantes. En este contexto, el uso de *biofeedback* permite que la persona observe y module variables fisiológicas, como el estrés o la tensión muscular, contribuyendo a la autorregulación del dolor (Dobkin & Dorsch, 2011). Además, la integración de *wearables* en programas de telemedicina domiciliaria ha demostrado mejorar resultados clínicos, reduciendo el dolor, el catastrofismo y la ansiedad, así como aumentando los niveles de actividad física en personas con dolor musculoesquelético crónico (Eboreime et al., 2025; Kamei et al., 2022).

En conjunto, estos datos, al complementar los autoinformes subjetivos, ofrecen una visión más dinámica y representativa de la experiencia dolorosa, facilitando la toma de decisiones terapéuticas personalizadas (Zhang et al., 2023). No obstante, la monitorización digital también transforma la relación entre la persona y su propio cuerpo, ya que los datos obtenidos requieren ser interpretados dentro de un contexto clínico y personal. En este sentido, la monitorización no sustituye al relato del paciente, sino que lo sitúa en un marco longitudinal, dinámico y verificable que enriquece la interpretación clínica (Keesara et al., 2020).



REALIDAD EXTENDIDA (RX): EL FLUJO TERAPÉUTICO INMERSIVO

La realidad extendida (RX), que abarca la realidad virtual, la aumentada y la mixta, constituye un conjunto de herramientas digitales que combinan el mundo real con elementos virtuales en distintos grados de realismo. La RX ha demostrado ser una opción no farmacológica eficaz, con efectos positivos en el alivio del dolor, la discapacidad, el miedo al movimiento y la ansiedad (Calderón Cabezas et al., 2025; Delgado Lastres, 2023; García-Gil et al., 2023). Estas tecnologías generan la sensación subjetiva de presencia, es decir, la percepción de estar realmente en el entorno virtual o aumentado, a pesar de que la persona sea consciente de que no es real. Este fenómeno distingue a la RX de otras intervenciones, ya que el individuo responde como si estuviera en un entorno real, lo que influye positivamente en la regulación del dolor y en la respuesta psicológica (Hoffman et al., 2004; Slater & Sanchez-Vives, 2016).

El mecanismo terapéutico de la RX se basa en la integración de procesos como la distracción atencional, el sentido de agencia, la encarnación (*embodiment*) y la neuroplasticidad (Blanke & Metzinger, 2009; Lopez et al., 2008; Matamala-Gomez et al., 2019). Cuando la persona dirige su atención a estímulos multisensoriales que combinan señales visuales y auditivas, estos compiten con la señal nociceptiva, generando una reorientación atencional que reduce la actividad en regiones cerebrales clave de la matriz del dolor, como la ínsula, el cíngulo anterior y la corteza somatosensorial, al tiempo que activa las vías descendentes de inhibición analgésica (Malloy & Milling, 2010; Pourmand et al., 2018). Este mecanismo ha demostrado ser especialmente robusto en el dolor agudo y procedimental, como en el tratamiento de quemaduras (Hoffman et al., 2000; Teh et al., 2024).

La RX permite generar la ilusión perceptiva de poseer un cuerpo virtual, fenómeno conocido como encarnación (*embodiment*). Esta sensación, junto con la capacidad de control del cuerpo virtual (agencia), puede modular la representación corporal interna, lo que ha demostrado ser útil para disminuir la intensidad del dolor en pacientes crónicos y



reducir el miedo al movimiento (Barsalou, 2010; Newport & Preston, 2010). Este enfoque refuerza la expectativa de que el movimiento sin dolor es posible y contribuye a modificar patrones desadaptativos asociados al dolor persistente (Longo et al., 2009; Mancini et al., 2013).

El tercer mecanismo clave se basa en la neuroplasticidad, ya que el uso repetido y prolongado de entornos virtuales puede inducir cambios en las regiones sensoriales y motoras del cerebro (Cheung et al., 2014). Este enfoque resulta especialmente relevante en condiciones donde existe una alteración de la representación corporal, como el dolor de miembro fantasma o el dolor crónico, permitiendo restaurar patrones corporales distorsionados (De Oliveira et al., 2016; Ichinose et al., 2017). En conjunto, la RX se posiciona como una herramienta terapéutica capaz de intervenir simultáneamente en los componentes sensoriales, cognitivos y emocionales del dolor.



LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL: EL FLUJO PARA PERSONALIZACIÓN DE TRATAMIENTOS

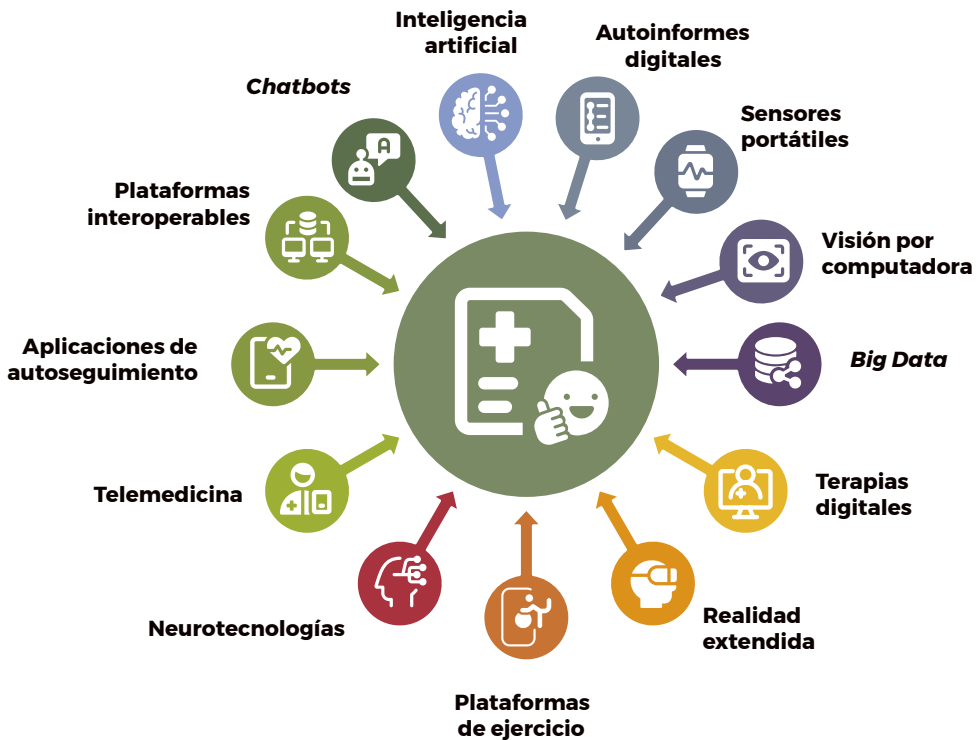
La inteligencia artificial (IA), mediante técnicas como *machine learning*, *deep learning*, procesamiento del lenguaje natural (*Natural Language Processing*) y visión por computadora, permite transformar grandes volúmenes de datos complejos en información predictiva y diagnóstica, redefiniendo el horizonte de la medicina de precisión en algología (Abd-Elsayed et al., 2024; Topol, 2019). Desde una perspectiva clínica, la IA actúa como herramienta diagnóstica y pronóstica; desde una perspectiva terapéutica, como soporte para la personalización de intervenciones; y desde la experiencia del paciente, como facilitador de la autoeficacia y la adherencia al tratamiento (Casarin et al., 2024).

En el ámbito diagnóstico, la detección del dolor mediante el análisis automatizado de microexpresiones faciales y de señales fisiológicas permite avanzar hacia evaluaciones más objetivas y continuas (Casella et al., 2025). En términos de predicción y pronóstico, los modelos basados en IA permiten estimar la probabilidad de cronificación del dolor, anticipar la respuesta individual a la farmacoterapia e identificar candidatos óptimos para intervenciones específicas (Abd-Elsayed et al., 2024; Akhtar, 2025).

Desde el punto de vista terapéutico, la IA facilita la personalización de los tratamientos mediante la optimización de dosis farmacológicas y la adaptación de programas de rehabilitación en función de patrones de movimiento y evolución clínica individual (Casarin et al., 2024). Asimismo, herramientas digitales basadas en IA, como *chatbots* y asistentes virtuales, permiten ofrecer intervenciones automatizadas de terapia cognitivo-conductual, *mindfulness* y educación en salud, contribuyendo a mejorar la autoeficacia y a reducir la catastrofización del dolor (Amidei et al., 2025; Barreveld et al., 2023).

En conjunto, la IA no solo amplía la capacidad de análisis clínico, sino que también permite integrar múltiples fuentes de información en tiempo real, facilitando que el manejo del dolor sea más dinámico, personalizado y centrado en la persona (Figura 3).

Figura 3. Componentes de la salud digital en el manejo del dolor.





EL LABORATORIO DIGITAL DEL DOLOR: LA REVOLUCIÓN EN INVESTIGACIÓN Y DESCUBRIMIENTO DE FÁRMACOS

La traslación preclínica constituye uno de los principales cuellos de botella en el desarrollo de nuevos analgésicos. Por ello, resulta imprescindible analizar cómo la digitalización está redefiniendo el concepto clásico de laboratorio en el estudio del dolor.

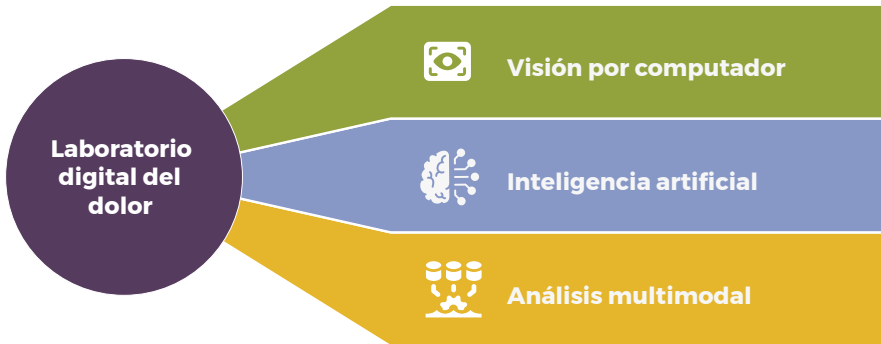
La transformación digital no se limita al ámbito clínico, sino que se extiende de forma decisiva a la investigación básica y al descubrimiento de fármacos (Fried et al., 2020; Jhumka & Abdus-Saboor, 2022). La evaluación preclínica sigue siendo un pilar esencial, no solo por razones regulatorias y éticas, sino porque permite explorar de forma controlada los mecanismos biológicos, conductuales y contextuales del dolor (Gregory et al., 2013; Le Bars et al., 2001; Mogil, 2009). En esta fase se generan hipótesis mecanísticas, se identifican señales tempranas de eficacia y seguridad y se descartan compuestos con perfiles desfavorables, optimizando recursos y reduciendo riesgos clínicos.

En un fenómeno tan complejo y multidimensional como el dolor, esta etapa resulta especialmente crítica, ya que permite estudiar la interacción entre sistemas sensoriales, afectivos y motores en condiciones experimentales controladas (Cunha et al., 2020; Yeziński & Hansson, 2018; Woolf, 2011). La incorporación de metodologías digitales e inteligencia artificial no sustituye esta fase, sino que la refuerza, aportando mayor objetividad, sensibilidad y capacidad traslacional (Dedek et al., 2023; Fried et al., 2020), en línea con las demandas actuales de predicción y estandarización (Ávila et al., 2020; Schmeisser et al., 2023).

En este contexto, la convergencia entre visión por computador, inteligencia artificial y análisis multimodal está dando lugar a un nuevo paradigma experimental. Este "laboratorio digital del dolor" permite generar medidas objetivas, continuas y de alta resolución del comportamiento, superando limitaciones históricas de la investigación analgésica (Figura 4) (Deuis et al., 2017; Fried et al., 2020; Tappe-Theodor et al., 2019).

Este cambio resulta especialmente relevante en un campo caracterizado por una elevada tasa de fracaso traslacional. A pesar de décadas de investigación, el número de analgésicos innovadores aprobados sigue siendo limitado (Kissin, 2010; Mogil, 2019; Mouraux et al., 2021; Woolf, 2010). Una de las principales razones es la dificultad para medir el dolor de forma fiable y comparable entre especies y contextos (Cobos & Portillo-Salido, 2013; Fisher et al., 2021; González-Cano et al., 2020; Mogil, 2009). La digitalización del laboratorio ofrece una oportunidad directa para abordar este problema estructural.

Figura 4. Componentes del laboratorio digital del dolor.



SUPERANDO LAS BARRERAS HISTÓRICAS DE LA EVALUACIÓN ANALGÉSICA

La evaluación del dolor en animales ha dependido tradicionalmente de la observación humana, mediante escalas conductuales y pruebas evocadas (Chaplan et al., 1994; Hargreaves et al., 1988). Aunque fundamentales, estos métodos presentan limitaciones relevantes.

Por un lado, la observación es intrínsecamente subjetiva, lo que introduce variabilidad difícil de eliminar (Sorge et al., 2014). Por otro, las mediciones suelen ser puntuales, capturando momentos concretos, pero no la dinámica continua del dolor (Tappe-Theodor & Kuner, 2014). Además, muchas pruebas se centran en respuestas reflejas, que no plasman adecuadamente los componentes afectivos y motivacionales del dolor persistente (Cunha et al., 2020; Fisher et al., 2021).

Estas limitaciones pueden llevar a una simplificación excesiva del fenómeno doloroso y dificultar la detección de efectos farmacológicos sutiles, contribuyendo al fracaso traslacional (Mouraux et al., 2021).

La incorporación de visión por computador y *deep learning* supone un cambio conceptual. El comportamiento puede analizarse directamente a partir de datos visuales, sin depender de la interpretación humana (Fried et al., 2020; Mathis et al., 2018). Esto permite obtener medidas posturales, cinemáticas y expresivas de alta resolución temporal.

Además, se facilita el estudio del comportamiento espontáneo en entornos más ecológicos, donde el dolor se manifiesta como una reorganización dinámica de estados conductuales (Hsu & Yttri, 2021; Luxem et al., 2022; Wiltschko et al., 2015).



En este marco, la inteligencia artificial no solo automatiza procesos, sino que amplía la capacidad de detectar patrones complejos, redefiniendo qué se considera una señal relevante en la investigación del dolor.

INTELIGENCIA ARTIFICIAL EN LA FASE PRECLÍNICA

La inteligencia artificial permite comparar grupos experimentales mediante múltiples variables conductuales, en lugar de depender de unos pocos indicadores predefinidos (Dedek et al., 2023; Fried et al., 2020). Esto genera perfiles fenotípicos más ricos y continuos del comportamiento (Hsu & Yttri, 2021; Wiltschko et al., 2015).

Este enfoque mejora la sensibilidad para detectar efectos farmacológicos, incluso cuando son parciales o dependientes del contexto (Jhumka & Abdus-Saboor, 2022). Además, reduce el sesgo del experimentador y mejora la reproducibilidad entre estudios (Sorge et al., 2014). Desde una perspectiva ética, estos sistemas permiten optimizar diseños experimentales y reducir el uso de animales, alineándose con los principios de las 3R (Flecknell, 2002; Tannenbaum & Bennett, 2015).

Uno de los avances más relevantes es el análisis de la microconducta: patrones finos de movimiento y expresión que reflejan estados internos del animal (Wiltschko et al., 2015). Mediante modelos no supervisados, pueden identificarse biomarcadores digitales del dolor que emergen directamente de los datos (Luxem et al., 2022). Asimismo, el análisis de expresiones faciales, como las *grimace scales*, y su automatización mediante *deep learning* representa un avance hacia medidas más objetivas y escalables (Chiang et al., 2022; Langford et al., 2010).

HACIA UNA NUEVA REGULACIÓN EN I+D

El desarrollo de estas metodologías coincide con una evolución regulatoria hacia las *New Approach Methodologies* (NAMs), que promueven modelos más predictivos y reproducibles (Ávila et al., 2020; Schmeisser et al., 2023).

Las agencias regulatorias están impulsando la mejora de la calidad y la relevancia traslacional de los datos preclínicos, especialmente en áreas complejas como el dolor. En este contexto, los sistemas basados en inteligencia artificial ofrecen una base sólida, siempre que se acompañen de procesos rigurosos de validación, estandarización y control de sesgos.

Más allá de su valor metodológico, uno de los aspectos más transformadores es su capacidad para actuar como puente entre investigación preclínica y clínica. La generación de biomarcadores digitales permite establecer comparaciones con datos humanos procedentes de monitorización digital o *wearables* (Davis et al., 2020; Vitali et al., 2024).

Este enfoque abre la puerta a una validación cruzada animal-humano, facilitando la continuidad de los hallazgos a lo largo de todo el desarrollo farmacológico (Tracey et al., 2019). De este modo, la inteligencia artificial no sustituye al ensayo clínico, pero sí mejora su eficiencia como filtro temprano de plausibilidad terapéutica.

En conjunto, la digitalización del laboratorio redefine la generación de evidencia en el campo del dolor. Este nuevo paradigma no solo puede acelerar el desarrollo de analgésicos, sino mejorar su relevancia clínica, alineando la investigación con la complejidad biopsicosocial del dolor.

REFLEXIÓN SOBRE LOS PUNTOS FUERTES Y LAS LIMITACIONES

El potencial transformador de las tecnologías digitales en el abordaje del dolor es evidente. Sin embargo, su incorporación real a la práctica clínica requiere un análisis crítico que tenga en cuenta tanto sus fortalezas como sus limitaciones.

FORTALEZAS INTRÍNSECAS Y MECANISMOS DE ACCIÓN

Una de las principales aportaciones de la telesalud es su capacidad para ampliar el acceso a la atención sanitaria y mantener un contacto clínico continuado sin depender de la presencialidad. Esto permite realizar un seguimiento remoto y en tiempo real, especialmente relevante en el manejo de enfermedades crónicas, y facilita tanto la autogestión del paciente como la detección precoz de posibles complicaciones.

Por su parte, la realidad extendida destaca por su capacidad para generar una distracción atencional intensa, capaz de modificar la percepción y la respuesta al dolor. Su eficacia no se limita a desviar la atención, sino que implica una modulación activa de los componentes afectivos y psicológicos del dolor crónico, como el miedo, la ansiedad, la frustración o la ira (Malloy & Milling, 2010; Pourmand et al., 2018).

Este enfoque permite entender que la realidad extendida no actúa únicamente como un distractor sensorial, sino como una herramienta con impacto cognitivo y emocional. En este sentido, refuerza el modelo biopsicosocial al integrar los procesos mentales y corporales en la experiencia del dolor. Esta capacidad resulta especialmente útil en programas de rehabilitación, donde se emplea para el entrenamiento sensoriomotor o la exposición progresiva al movimiento en entornos seguros y controlados.



DESAFÍOS Y CONSIDERACIONES TRANSVERSALES PARA LA PRÁCTICA CLÍNICA

La integración de este ecosistema plantea desafíos relevantes que deben abordarse para su incorporación efectiva en la práctica clínica (Figura 5). Uno de los principales es garantizar el rigor regulatorio y la generación de evidencia, ya que las terapias digitales y los sistemas de inteligencia artificial se clasifican como productos sanitarios de alto riesgo en Europa. Esto implica el cumplimiento del Reglamento (UE) 2017/745 (marcado CE) y la aplicación de guías metodológicas específicas, como CONSORT-EHEALTH, SPIRIT o RATE-XR, orientadas a asegurar la transparencia, la eficacia y la replicabilidad de los estudios.

Otro desafío clave es la protección de los datos clínicos. El manejo de información sensible exige el cumplimiento estricto del Reglamento General de Protección de Datos (RGPD), lo que requiere la implementación de medidas técnicas y organizativas como el cifrado, la seudonimización y la trazabilidad del consentimiento informado.

En el ámbito organizativo, la falta de interoperabilidad con las historias clínicas electrónicas, la ausencia de modelos claros de financiación y reembolso –con excepciones como el sistema DiGA en Alemania– (Greenhalgh et al., 2017) y la necesidad de formación digital continua para los profesionales sanitarios limitan la adopción a gran escala de estas herramientas.

Figura 5. Fortalezas y desafíos de la salud digital como ecosistema para manejar el dolor.



Desde una perspectiva transversal, uno de los retos más complejos es evitar que la expansión de estas tecnologías reproduzca o amplifique las desigualdades existentes. La dependencia de infraestructuras tecnológicas puede generar barreras de acceso, especialmente en poblaciones vulnerables, como personas mayores o residentes en entornos rurales, que pueden presentar limitaciones en el acceso a dispositivos o en la alfabetización digital (Granja et al., 2018).

Asimismo, la adherencia constituye un factor crítico para la efectividad de estas intervenciones. El abandono precoz de aplicaciones digitales es frecuente y limita su impacto clínico real, lo que subraya la necesidad de diseñar herramientas accesibles, usables y adaptadas a las características de los usuarios (Gómez-González et al., 2025; Jones et al., 2021).

En conjunto, estos desafíos ponen de manifiesto que la integración de las tecnologías digitales en el manejo del dolor no depende únicamente de su validación clínica o regulación, sino de su implementación en sistemas sanitarios capaces de garantizar equidad, accesibilidad y sostenibilidad.

LA INNOVACIÓN TECNOLÓGICA COMO COMPLEMENTO, NO SUSTITUTO, DEL CUIDADO HUMANO

En conjunto, la digitalización ofrece un potencial transformador para evolucionar desde modelos empíricos hacia una medicina de precisión en el manejo del dolor. No obstante, su incorporación efectiva exige entender que tecnologías como la inteligencia artificial o la realidad extendida deben actuar como herramientas de apoyo que complementan el juicio clínico y la relación terapéutica, y no como sustitutos de estos elementos esenciales. Su implementación requiere, por tanto, una participación activa de los profesionales sanitarios para garantizar la seguridad, la validez científica y la equidad en su uso (Falla et al., 2021).

Este proceso debe diseñarse de manera consciente, reconociendo tanto los límites como las responsabilidades asociadas a estos sistemas. En particular, es necesario considerar que los sesgos relacionados con el género, la clase social, la edad, la discapacidad u otros determinantes sociales pueden reproducirse o incluso amplificarse si no se abordan de forma explícita durante el desarrollo y la implementación tecnológica. De no hacerlo, el ecosistema digital corre el riesgo de perpetuar desigualdades estructurales y estigmas ya existentes (Katz et al., 2025).

Más allá de la mejora tecnológica, el futuro del abordaje del dolor dependerá de la capacidad para integrar estos avances sin perder de vista la complejidad humana de la experiencia dolorosa. En este sentido, el valor de la salud digital no reside únicamente en su capacidad para optimizar procesos, sino en su potencial para ampliar el alcance del cuidado, mantener su continuidad fuera del entorno clínico y generar conocimiento a partir de datos contextualizados a gran escala (Granja et al., 2018).

Desde una perspectiva práctica, la innovación tecnológica debe entenderse como un complemento estratégico del cuidado humano. Su mayor aportación radica en automatizar tareas repetitivas y basadas en datos (como la monitorización, el ajuste de parámetros o determinadas intervenciones estructuradas), permitiendo que el profesional sanitario dedique más tiempo a aquellos aspectos que requieren juicio clínico, empatía y toma de decisiones complejas. El objetivo no es sustituir la interacción humana, sino reforzarla.

La consolidación de este modelo requiere una alineación efectiva entre los distintos actores del ecosistema sanitario. La práctica clínica debe integrar estas herramientas en los flujos asistenciales habituales, con criterios claros de uso y supervisión. La investigación ha de priorizar la generación de evidencia robusta en contextos reales, incluyendo aspectos como la usabilidad, la adherencia y la equidad. El desarrollo tecnológico, por su parte, debe incorporar principios de diseño responsable, garantizando la interoperabilidad y la protección del dato clínico contextualizado (González López, 2025). Finalmente, las personas con dolor deben participar activamente como agentes implicados en su propio proceso de cuidado, favoreciendo la alfabetización digital y la co-creación de soluciones.

En última instancia, el avance de la salud digital en el manejo del dolor no dependerá únicamente de la sofisticación de los algoritmos o de los dispositivos, sino de la capacidad colectiva para integrar la tecnología en un modelo asistencial más justo, informado y centrado en la persona. •

MENSAJES CLAVE



Las tecnologías digitales están transformando el manejo del dolor hacia modelos más personalizados, continuos y basados en datos.



La salud digital no sustituye la práctica clínica, sino que amplía sus capacidades diagnósticas, terapéuticas y de seguimiento.



Las terapias digitales representan intervenciones clínicas reguladas que requieren evidencia robusta, validación continua e integración asistencial.



La inteligencia artificial permite avanzar hacia una medicina de precisión, pero su uso exige control de sesgos, transparencia y supervisión clínica.



La realidad extendida actúa sobre los componentes sensoriales, cognitivos y emocionales del dolor, consolidándose como herramienta terapéutica no farmacológica.



La monitorización digital aporta datos objetivos y dinámicos que complementan la evaluación subjetiva del dolor y mejoran la toma de decisiones clínicas.



La interoperabilidad, la formación profesional y los modelos de financiación son factores críticos para la implementación real de estas tecnologías.



La protección de datos y el consentimiento informado digital son elementos esenciales para garantizar la seguridad y la confianza.



La adherencia del paciente y la usabilidad de las herramientas condicionan su efectividad en la práctica clínica.



La equidad digital debe incorporarse desde el diseño para evitar ampliar las desigualdades en salud.



La integración de estas tecnologías requiere colaboración entre clínicos, investigadores, tecnólogos y pacientes.



El objetivo final de la digitalización no es la eficiencia por sí misma, sino mejorar la calidad, la humanización y la accesibilidad del cuidado del dolor.



BIBLIOGRAFIA

- Abbas, J. R., O'Connor, A., Ganapathy, E., Isba, R., Payton, A., McGrath, B., Tolley, N., & Bruce, I. A. (2023). What is virtual reality? A healthcare-focused systematic review of definitions. *Health Policy and Technology*, 12(2), 100741. <https://doi.org/10.1016/j.hlpt.2023.100741>
- Abd-Elseyed, A., Robinson, C. L., Marshall, Z., Diwan, S., & Peters, T. (2024). Applications of artificial intelligence in pain medicine. *Current Pain and Headache Reports*, 28(4), 229–238. <https://doi.org/10.1007/s11916-024-01224-8>
- Agencia Española de Medicamentos y Productos Sanitarios. (2023). *Productos sanitarios: Marco regulatorio*. <https://www.aemps.gob.es/productos-sanitarios/>
- Akhtar, Z. B. (2025). Exploring AI for pain research management: A deep dive investigative exploration. *Journal of Pain Research and Management*, 1(1), 28–42. <https://doi.org/10.46439/Painresearch.1.004>
- Amidei, J., Nieto, R., Kaltenbrunner, A., Ferreira de Sá, J. G., Serrat, M., & Albajes, K. (2025). Exploring the capacity of large language models to assess the chronic pain experience: Algorithm development and validation. *Journal of Medical Internet Research*, 27, e65903. <https://doi.org/10.2196/65903>
- Antel, R., Whitelaw, S., Gore, G., & Ingelmo, P. (2024). Moving towards the use of artificial intelligence in pain management. *European Journal of Pain*, 29(3), e4748. <https://doi.org/10.1002/ejp.4748>
- Araújo, L. M. S. M. de, Andrade, M. A. de, & Sato, T. O. (2023). Telerehabilitation for musculoskeletal pain: An overview of systematic reviews. *Digital Health*, 9. <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC10028667/>
- Avila, A. M., Bebenek, I., Bonzo, J. A., et al. (2020). An FDA/CDER perspective on nonclinical testing strategies: Classical toxicology approaches and new approach methodologies (NAMs). *Regulatory Toxicology and Pharmacology*, 114, 104662. <https://doi.org/10.1016/j.yrtph.2020.104662>
- Baker, N. A., Polhemus, A. H., Ospina, E. H., Feller, H., Zenni, M., Deacon, M., DeGrado, J. R., Basnet, R., & Driscoll, M. (2022). The state of science in the use of virtual reality in the treatment of acute and chronic pain: A systematic scoping review. *The Clinical Journal of Pain*, 38(6), 424–441. <https://doi.org/10.1097/AJP.0000000000001029>
- Barbosa, W., Zhou, K., Waddell, E., Myers, T., & Dorsey, E. R. (2021). Improving Access to Care: Telemedicine Across Medical Domains. *Annual review of public health*, 42, 463–481. <https://doi.org/10.1146/annurev-publhealth-090519-093711>
- Barcatta, L., et al. (2022). When less is more: Investigating factors influencing the distraction effect of virtual reality from pain. *Frontiers in Pain Research*, 2, 800258. <https://doi.org/10.3389/fpain.2021.800258>

- Barreveld, A. M., Rosén Klement, M. L., Cheung, S., Axelsson, U., Basem, J. I., Reddy, A. S., Borrebaeck, C. A. K., & Mehta, N. (2023). An artificial intelligence-powered, patient-centric digital tool for self-management of chronic pain: A prospective, multicenter clinical trial. *Pain Medicine*, 24(9), 1100–1110. <https://doi.org/10.1093/pm/pnad049>
- Barrot, M. (2012). Tests and models of nociception and pain in rodents. *Neuroscience*, 211, 39–50. <https://doi.org/10.1016/j.neuroscience.2011.12.041>
- Barsalou, L. W. (2010). Grounded cognition: Past, present, and future. *Topics in Cognitive Science*, 2(4), 716–724. <https://doi.org/10.1111/j.1756-8765.2010.01115.x>
- Bashshur, R. L., Shannon, G. W., Bashshur, N., & Yellowlees, P. M. (2016). The empirical evidence for telemedicine interventions in mental disorders. *Telemedicine and e-Health*, 22(2), 87–113. <https://doi.org/10.1089/tmj.2015.0206>
- Baydoun, M., Gajtani, Z., Patton, M. M., McLennan, A., Cartwright, S., & Carlson, L. E. (2024). Virtual reality-guided mindfulness for chronic pain in cancer survivors: Protocol for the virtual mind study—a single-group feasibility trial. *Frontiers in Pain Research*, 5, 1291374. <https://doi.org/10.3389/fpain.2024.1291374>
- Becerra, L., et al. (1999). Human brain activation under controlled thermal stimulation and habituation to noxious heat: An fMRI study. *Magnetic Resonance in Medicine*, 41(5), 1044–1057. [https://doi.org/10.1002/\(sici\)1522-2594\(199905\)41:5%3C1044::aid-mrm25%3E3.0.co;2-m](https://doi.org/10.1002/(sici)1522-2594(199905)41:5%3C1044::aid-mrm25%3E3.0.co;2-m)
- Beltrán Alacreu, H. (2024). Realidad extendida en ciencias de la salud: más allá de lo médico. *Fisioterapia*, 46(6), 343–344. <https://doi.org/10.1016/j.ft.2024.07.005>
- Benis, A., Tamburis, O., Chronaki, C., & Moen, A. (2021). One digital health: A unified framework for future health ecosystems. *Journal of Medical Internet Research*, 23(2), e22189. <https://doi.org/10.2196/22189>
- Bhatia, A., Kara, J., Janmohamed, T., Prabhu, A., Lebovic, G., Katz, J., & Clarke, H. (2021). User engagement and clinical impact of the Manage My Pain app in patients with chronic pain: A real-world, multi-site trial. *JMIR mHealth and uHealth*, 9(3), e26528. <https://doi.org/10.2196/26528>
- Blanke, O., & Metzinger, T. (2009). Full-body illusions and minimal phenomenal selfhood. *Trends in Cognitive Sciences*, 13(1), 7–13. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2008.10.003>
- Bradway, M., Carrion, C., Vallespin, B., Saadatfard, O., Puigdomènech, E., Espallargues, M., & Kotzeva, A. (2017). mHealth assessment: Conceptualization of a global framework. *JMIR mHealth and uHealth*, 5(5), e60. <https://doi.org/10.2196/mhealth.7291>
- Bronzino, J. D., & Peterson, D. R. (2015). *The biomedical engineering handbook* (4th ed.). CRC Press.
- Brown, T. (2009). *Change by design: How design thinking creates new alternatives for business and society*. HarperBusiness.

- Bundesinstitut für Arzneimittel und Medizinprodukte. (2025). *DiGA-Verzeichnis: Directory of digital health applications*. <https://diga.bfarm.de/de>
- Burstin, H., et al. (2023). Integrating telehealth and traditional care in chronic pain management and substance use disorder treatment: An action agenda for building the future state of hybrid care. *NAM Perspectives*. <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC11114598/>
- Bushnell, M. C., Čeko, M., & Low, L. A. (2013). Cognitive and emotional control of pain and its disruption in chronic pain. *Nature Reviews Neuroscience*, *14*(7), 502–511. <https://doi.org/10.1038/nrn3516>
- Calderón Cabezas, C. C., Alvarado López, C. E., & Espina-Rodas, M. C. (2025). Intervenciones tecnológicas para el alivio del dolor en población pediátrica paliativa: Una revisión sistemática. *Esprint Investigación*, *4*(3), 8–25. <https://doi.org/10.61347/ei.v4i3.172>
- Cannon, C. (2018). Telehealth, mobile applications, and wearable devices are expanding cancer care beyond walls. *Seminars in Oncology Nursing*, *34*(2), 118–125. <https://doi.org/10.1016/j.soncn.2018.03.002>
- Cao, S., Fu, D., Yang, X., Wermter, S., Liu, X., & Wu, H. (2024). Pain recognition and pain empathy from a human-centered AI perspective. *iScience*, *27*(8), 110454. <https://doi.org/10.1016/j.isci.2024.110454>
- Casarin, S., Haelterman, N. A., & Machol, K. (2024). Transforming personalized chronic pain management with artificial intelligence: A commentary on the current landscape and future directions. *Experimental Neurology*, *382*, 114980. <https://doi.org/10.1016/j.expneurol.2024.114980>
- Cascella, M., Esposito, D., Muzio, M. R., Cascella, V., & Cerrone, V. (2025). Artificial intelligence for pain assessment via facial expression recognition (2015–2025): A systematic review. *Exploration of Medicine*, *6*, 1001370. <https://doi.org/10.37349/emed.2025.1001370>
- Caserman, P., Garcia-Agundez, A., Gámez Zerban, A., et al. (2021). Cybersickness in current-generation virtual reality head-mounted displays: Systematic review and outlook. *Virtual Reality*, *25*, 1153–1170. <https://doi.org/10.1007/s10055-021-00513-6>
- Casey, K. L., et al. (1994). Positron emission tomographic analysis of cerebral structures activated by repetitive noxious stimuli. *Journal of Neurophysiology*, *71*(2), 802–807. <https://doi.org/10.1152/jn.1994.71.2.802>
- Chan, A. W., Tetzlaff, J. M., Gøtzsche, P. C., Altman, D. G., Mann, H., Berlin, J., ... Moher, D. (2021). SPIRIT-AI and CONSORT-AI guidelines for clinical trials of artificial intelligence interventions. *Trials*, *22*(1), 11. <https://doi.org/10.1186/s13063-020-04951-6>
- Chaplan, S. R., Bach, F. W., Pogrel, J. W., Chung, J. M., & Yaksh, T. L. (1994). Quantitative assessment of tactile allodynia in the rat paw. *Journal of Neuroscience Methods*, *53*(1), 55–63. [https://doi.org/10.1016/0165-0270\(94\)90144-9](https://doi.org/10.1016/0165-0270(94)90144-9)

- Cheung, K. L., Tunik, E., Adamovich, S. V., & Boyd, L. A. (2014). Neuroplasticity and virtual reality. In P. Weiss, E. Keshner, & M. Levin (Eds.), *Virtual reality for physical and motor rehabilitation*. Springer. https://doi.org/10.1007/978-1-4939-0968-1_2
- Chiang, C. Y., Chen, Y. P., Tzeng, H. R., Chang, M. H., Chiou, L. C., & Pei, Y. C. (2022). Deep learning-based grimace scoring is comparable to human scoring in a mouse migraine model. *Journal of Personalized Medicine*, *12*(6), 851. <https://doi.org/10.3390/jpm12060851>
- Cho, H., You, S. B., Hodgson, N., Massimo, L., & Demiris, G. (2024). Characteristics of Telehealth Interventions for Adult Patients with Chronic Pain and Family Care Partners. *Telemedicine journal and e-health*, *30*(5), 1239–1261. <https://doi.org/10.1089/tmj.2023.0514>
- Cobos, E. J., & Portillo-Salido, E. (2013). Bedside-to-bench behavioral outcomes in animal models of pain: Beyond the evaluation of reflexes. *Current Neuropharmacology*, *11*(6), 560–591. <https://doi.org/10.2174/1570159X113119990041>
- Colloca, L., Han, A., Massalee, R., Raghuraman, N., Cundiff-O'Sullivan, R. L., Colloca, G., & Wang, Y. (2025). Telehealth virtual reality intervention reduces chronic pain in a randomized crossover study. *npj Digital Medicine*, *8*, 192. <https://doi.org/10.1038/s41746-025-01553-x>
- Cunha, A. M., Pereira-Mendes, J., Almeida, A., Guimarães, M. R., & Leite-Almeida, H. (2020). Chronic pain impact on rodents' behavioral repertoire. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, *119*, 101–127. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2020.09.022>
- Czech, O., Wrzecziono, A., Rutkowska, A., Guzik, A., Kiper, P., & Rutkowski, S. (2021). Virtual reality interventions for needle-related procedural pain, fear and anxiety—A systematic review and meta-analysis. *Journal of Clinical Medicine*, *10*(15), 3248. <https://doi.org/10.3390/jcm10153248>
- Davis, K. D., Aghaeepour, N., Ahn, A. H., et al. (2020). Discovery and validation of biomarkers to aid the development of safe and effective pain therapeutics: Challenges and opportunities. *Nature Reviews Neurology*, *16*(7), 381–400. <https://doi.org/10.1038/s41582-020-0362-2>
- de Boo, M. J., Rennie, A. E., Buchanan-Smith, H. M., & Hendriksen, C. F. M. (2005). The interplay between replacement, reduction and refinement. *Animal Welfare*, *14*(4), 327–332. <https://doi.org/10.1017/S0962728600029651>
- De Guzman, K. R., Snoswell, C. L., Taylor, M. L., Gray, L. C., & Caffery, L. J. (2022). Economic evaluations of remote patient monitoring for chronic disease: A systematic review. *Value in Health*, *25*(6), 897–913. <https://doi.org/10.1016/j.jval.2021.12.001>

- De la Cruz Herrera, M., Fuster-Casanovas, A., Miró Catalina, Q., Cigarrán Mensa, M., Vilanova Guitart, I., Agüera Sedeño, A., Vidal-Alaball, J., & Grau-Carrion, S. (2025). Use of virtual reality in the reduction of pain after the administration of vaccines among children in primary care centers in Central Catalonia: Randomized clinical trial. *PLOS ONE*, 20(5), e0322840. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0322840>
- De Oliveira, E. C., Bertrand, P., Lesur, M. E. R., Palomo, P., Demarzo, M., Cebolla, A., Banos, R., & Tori, R. (2016). Virtual body swap: A new feasible tool to be explored in health and education. *XVIII Symposium on Virtual and Augmented Reality (SVR)*, 81–89. <https://doi.org/10.1109/SVR.2016.23>
- de Ridder, D., et al. (2022). The brain's default mode network and chronic pain. *Frontiers in Neurology*, 13, 757241. <https://doi.org/10.3389/fneur.2022.757241>
- DeBar, L. L., Mayhew, M., Wellman, R. D., Balderson, B. H., Dickerson, J. F., Elder, C. R., Justice, M., Keefe, F. J., McMullen, C. K., Owen-Smith, A. A., Rini, C., Von Korff, M., Waring, S., Yarava, A., Shen, Z., Thompson, R. E., Clark, A. E., Casper, T. C., & Cook, A. J. (2025). Telehealth and online cognitive behavioral therapy-based treatments for high-impact chronic pain: A randomized clinical trial. *JAMA*, 334(7), 592–605. <https://doi.org/10.1001/jama.2025.11178>
- Dedek, C., Azadgoleh, M. A., & Prescott, S. A. (2023). Reproducible and fully automated testing of nocifensive behavior in mice. *Cell Reports Methods*, 3(12), 100650. <https://doi.org/10.1016/j.crmeth.2023.100650>
- Delgado Lastres, L. (2023). *Eficacia de la realidad virtual como tratamiento del dolor crónico: Una revisión sistemática*. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.36214.37442>
- Destoumieux-Garzon, D., Mavingui, P., Boetsch, G., Boissier, J., Darriet, F., Duboz, P., Fritsch, C., Giraudoux, P., Le Roux, F., Morand, S., Paillard, C., Pontier, D., Sueur, C., & Voituren, Y. (2018). The One Health concept: 10 years old and a long road ahead. *Frontiers in Veterinary Science*, 5, 14. <https://doi.org/10.3389/fvets.2018.00014>
- Deuis, J. R., Dvorakova, L. S., & Vetter, I. (2017). Methods used to evaluate pain behaviors in rodents. *Frontiers in Molecular Neuroscience*, 10, 284. <https://doi.org/10.3389/fnmol.2017.00284>
- Devan, H., Farmery, D., Peebles, L., & Grainger, R. (2019). Evaluation of self-management support functions in apps for people with persistent pain: Systematic review. *JMIR mHealth and uHealth*, 7(2), e13080. <https://doi.org/10.2196/13080>
- Digital Therapeutics Alliance. (2019). *Digital therapeutics: Definition and core principles*. https://dtxalliance.org/wp-content/uploads/2021/01/DTA_DTx-Definition-and-Core-Principles.pdf
- Digital Therapeutics Alliance. (2020). *Digital therapeutics: Clinical evidence guidelines*. Digital Therapeutics Alliance.

- Ding, M. E., Traiba, H., & Perez, H. R. (2025). Virtual reality interventions and chronic pain: Scoping review. *Journal of Medical Internet Research*, 27, e59922. <https://doi.org/10.2196/59922>
- Dobkin, B. H., & Dorsch, A. (2011). The promise of mHealth: Daily activity monitoring and outcome assessments by wearable sensors. *Neurorehabilitation and Neural Repair*, 25(9), 788–798. <https://doi.org/10.1177/1545968311425908>
- Dorris, H., Oh, J., & Jacobson, N. (2024). Wearable movement data as a potential digital biomarker for chronic pain: An investigation using deep learning. *Physical Activity and Health*, 8, 83–92. <https://doi.org/10.5334/paah.329>
- Dreesmann, N. J., Su, H., & Thompson, H. J. (2022). A systematic review of virtual reality therapeutics for acute pain management. *Pain Management Nursing*, 23(5), 672–681. <https://doi.org/10.1016/j.pmn.2022.05.004>
- Dueñas, M., De Sola, H., Salazar, A., Esquivia, A., Rubio, S., & Failde, I. (2025). Prevalence and epidemiological characteristics of chronic pain in the Spanish population: Results from the pain barometer. *European Journal of Pain*, 29(1), e4705. <https://doi.org/10.1002/ejp.4705>
- Dworkin, R. H., Turk, D. C., Wyrwich, K. W., et al. (2008). Interpreting the clinical importance of treatment outcomes in chronic pain clinical trials: IMMPACT recommendations. *The Journal of Pain*, 9(2), 105–121. <https://doi.org/10.1016/j.jpain.2007.09.005>
- Eboreime, K. O., Hughes, J. G., Lee, R., & Luo, J. (2025). Can wearable devices promote physical activity and reduce pain in people with chronic musculoskeletal conditions? *Journal of Clinical Medicine*, 14, 1003. <https://doi.org/10.3390/jcm14031003>
- El-Tallawy, S. N., et al. (2024). Innovative applications of telemedicine and other digital health solutions in pain management: A literature review. *Pain and Therapy*, 13(2), 527–548. <https://doi.org/10.1007/s40122-024-00620-7>
- European Commission Joint Research Centre. (2022). *DigCompHealth: The digital competence framework for health professionals*. https://www.dhelida.eu/assets/digcomphealth_framework-en2.pdf
- European Commission. (2017). *Regulation (EU) 2017/745 on medical devices*. Official Journal of the European Union. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/PDF/?uri=CELEX:32017R0745>
- European Commission. (2021). *Proposal for a regulation laying down harmonised rules on artificial intelligence (Artificial Intelligence Act)*. Publications Office of the European Union. <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/library/proposal-regulation-laying-down-harmonised-rules-artificial-intelligence>
- European Commission. (2022). *Digital health in the European Union: Transforming healthcare for the future*. Publications Office of the European Union. https://health.ec.europa.eu/ehealth-digital-health-and-care/digital-health-and-care_en

- European Commission. (2025). *EUDAMED – European database on medical devices*. <https://health.ec.europa.eu/md-eudamed>
- Eysenbach, G., & CONSORT-EHEALTH Group. (2011). CONSORT-EHEALTH: Improving and standardizing evaluation reports of Web-based and mobile health interventions. *Journal of Medical Internet Research*, 13(4), e126. <https://doi.org/10.2196/jmir.1923>
- Falla, D., Devecchi, V., Jiménez-Grande, D., Rügamer, D., & Liew, B. X. W. (2021). Machine learning approaches applied in spinal pain research. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 61, 102599. <https://doi.org/10.1016/j.jelekin.2021.102599>
- Fan, K., & Zhao, Y. (2022). Mobile health technology: A novel tool in chronic disease management. *Intelligent Medicine*, 2(1), 41–47. <https://doi.org/10.1016/j.imed.2021.06.003>
- Fang, R., Hosseini, E., Zhang, R., Fang, C., Rafatirad, S., & Homayoun, H. (2025). Survey on pain detection using machine learning models: Narrative review. *JMIR AI*, 4, e53026. <https://doi.org/10.2196/53026>
- Feehan, L. M., Geldman, J., Sayre, E. C., Park, C., Ezzat, A. M., Yoo, J. Y., et al. (2018). Accuracy of Fitbit devices: Systematic review and narrative syntheses of quantitative data. *JMIR mHealth and uHealth*, 6(8), e10527. <https://doi.org/10.2196/10527>
- Felnhöfer, A., Kothgassner, O. D., Hlavacs, H., Beutl, L., & Kryspin-Exner, I. (2014). Physical and social presence in collaborative virtual environments. *Computers in Human Behavior*, 31, 272–279. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2013.10.042>
- Ferguson, T., Olds, T., Curtis, R., Blake, H., Crozier, A. J., Dankiw, K., et al. (2022). Effectiveness of wearable activity trackers to increase physical activity and improve health: A systematic review of systematic reviews and meta-analyses. *The Lancet Digital Health*, 4(8), e615–e626. [https://doi.org/10.1016/S2589-7500\(22\)00111-X](https://doi.org/10.1016/S2589-7500(22)00111-X)
- Ferrer Costa, J., Fernandez Brusco, A., Torrecillas Camacho, C., Villabona Lopez, E., Rodriguez Belloso, M., Villares Urgell, L., Serrano Barrena, P., & Morán Bueno, N. (2025). Integrating extended reality into primary care chronic pain programs via the REDOCVR intervention: Real-world implementation feasibility and usability study. *JMIR XR and Spatial Computing*, 2, e82858. <https://doi.org/10.2196/82858>
- Ferrer Costa, J., Muñoz Cociña, Z., Ciudad, M. J., & López Fernández, M. (2025). Virtual reality in preanesthetic care: A case series on feasibility and usability. *Journal of Medical Extended Reality*, 2(1), 43–50. <https://doi.org/10.1089/jmedxr.2024.0061>
- Fiani, B., Siddiqi, I., Lee, S. C., Dhillon, L., & Bowers, C. (2021). Virtual reality and pain management: Current trends and future directions. *Pain Research and Management*, 2021, 8103250. <https://doi.org/10.1155/2021/8103250>

- Fisher, A., Lanigan, M., Upton, N., & Lione, L. (2021). Preclinical neuropathic pain assessment: The importance of translatability and bidirectional research. *Frontiers in Pharmacology, 11*, 614990. <https://doi.org/10.3389/fphar.2020.614990>
- Flecknell, P. (2002). Replacement, reduction and refinement. *ALTEX, 19*(2), 73–78.
- Fomo, M., Borga, L. G., Abel, T., Santangelo, P. S., Riggare, S., Klucken, J., & Paccoud, I. (2025). Empowering capabilities of people with chronic diseases through digital health technologies: Scoping review using the capability approach. *Journal of Medical Internet Research, 27*, e68458. <https://doi.org/10.2196/68458>
- Food and Drug Administration. (2022). *Real-world evidence (RWE) program*. <https://www.fda.gov/science-research/science-and-research-special-topics/real-world-evidence>
- Food and Drug Administration. (2023). *Software as a medical device (SaMD)*. <https://www.fda.gov/medical-devices/digital-health-center-excellence/software-medical-device-samd>
- Fried, N. T., Chamesian, A., Zylka, M. J., & Abdus-Saboor, I. (2020). Improving pain assessment in mice and rats with advanced videography and computational approaches. *Pain, 161*(7), 1420–1424. <https://doi.org/10.1097/j.pain.0000000000001843>
- Fritz, J. M., Ford, I., George, S. Z., Vinci de Vanegas, L., Cope, T., Burke, C. A., & Goode, A. P. (2024). Telehealth delivery of physical therapist-led interventions for persons with chronic low back pain in underserved communities: Lessons from pragmatic clinical trials. *Frontiers in Pain Research, 5*, 1324096. <https://doi.org/10.3389/fpain.2024.1324096>
- Gallagher, S. (2000). Philosophical conceptions of the self: Implications for cognitive science. *Trends in Cognitive Sciences, 4*(1), 14–21. [https://doi.org/10.1016/S1364-6613\(99\)01417-5](https://doi.org/10.1016/S1364-6613(99)01417-5)
- Garcia, L. M., Birckhead, B. J., Krishnamurthy, P., Sackman, J., Mackey, I. G., Louis, R. G., Salmasi, V., Maddox, T., & Darnall, B. D. (2021). An 8-week self-administered at-home behavioral skills-based virtual reality program for chronic low back pain: Double-blind, randomized, placebo-controlled trial conducted during COVID-19. *Journal of Medical Internet Research, 23*(2), e26292. <https://doi.org/10.2196/26292>
- Gatchel, R. J., Peng, Y. B., Peters, M. L., Fuchs, P. N., & Turk, D. C. (2007). The biopsychosocial approach to chronic pain: Scientific advances and future directions. *Psychological Bulletin, 133*(4), 581–624. <https://doi.org/10.1037/0033-2909.133.4.581>
- Gerke, S., Stern, A. D., & Minssen, T. (2020). Germany's digital health reforms in the COVID-19 era: Lessons and opportunities for other countries. *NPJ Digital Medicine, 3*(1), 94. <https://doi.org/10.1038/s41746-020-0306-7>

- Glasgow, R. E., Vogt, T. M., & Boles, S. M. (1999). Evaluating the public health impact of health promotion interventions: The RE-AIM framework. *American Journal of Public Health, 89*(9), 1322–1327. <https://doi.org/10.2105/AJPH.89.9.1322>
- Global Market Insights, Inc. (2020). *Digital health market demand to hit \$639.4 billion by 2026*. <https://www.dhitglobal.org/digital-health-market-demand-to-hit-639-4-bn-by-2026-global-market-insights-inc/>
- Glynn, L. H., Chen, J. A., Dawson, T. C., Gelman, H., & Zeliadt, S. B. (2021). Bringing chronic pain care to rural veterans: A telehealth pilot program description. *Psychological Services, 18*(3), 310–318. <https://doi.org/10.1037/ser0000408>
- Gold, J. I., Kim, S. H., Kant, A. J., Joseph, M. H., & Rizzo, A. S. (2006). Effectiveness of virtual reality for pediatric pain distraction during i.v. placement. *CyberPsychology & Behavior, 9*(2), 207–212. <https://doi.org/10.1089/cpb.2006.9.207>
- Goldberg, D. S., & McGee, S. J. (2011). Pain as a global public health priority. *BMC Public Health, 11*, 770. <https://doi.org/10.1186/1471-2458-11-770>
- Gómez-González, M. A., Cordero Tous, N., De la Cruz Sabido, J., Sánchez Corral, C., Lechuga Carrasco, B., López-Vicente, M., & Olivares Granados, G. (2025). Following up patients with chronic pain using a mobile app with a support center: Unicenter prospective study. *JMIR Human Factors, 12*, e60160. <https://doi.org/10.2196/60160>
- González López, D. (2025, junio 18). Retos regulatorios en el uso de aplicaciones de salud reproductiva: Privacidad y protección de datos. *Legal Today*. <https://www.legaltoday.com/opinion/articulos-de-opinion/retos-regulatorios-en-el-uso-de-aplicaciones-de-salud-reproductiva-privacidad-y-proteccion-de-datos-2025-06-18/>
- González-Cano, R., Montilla-García, Á., Ruiz-Cantero, M. C., et al. (2020). The search for translational pain outcomes to refine analgesic development. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews, 113*, 238–261. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2020.03.004>
- Goudman, L., Jansen, J., Billot, M., Vets, N., De Smedt, A., Roulaud, M., & Moens, M. (2022). Virtual reality applications in chronic pain management: Systematic review and meta-analysis. *JMIR Serious Games, 10*(2), e34402. <https://doi.org/10.2196/34402>
- Gouverneur, P., Li, F., Shirahama, K., Luebke, L., Adamczyk, W. M., Szikszay, T. M., Luedtke, K., & Grzegorzec, M. (2023). Explainable artificial intelligence (XAI) in pain research: Understanding the role of electrodermal activity for automated pain recognition. *Sensors, 23*, 1959. <https://doi.org/10.3390/s23041959>
- Granja, C., Janssen, W., & Johansen, M. A. (2018). Factors determining the success and failure of eHealth interventions: Systematic review of the literature. *Journal of Medical Internet Research, 20*(5), e10235. <https://doi.org/10.2196/10235>

- Greenhalgh, T., Wherton, J., Papoutsis, C., Lynch, J., & Hughes, G. (2017). Beyond adoption: A new framework for theorizing and evaluating nonadoption, abandonment, and challenges to the scale-up, spread, and sustainability of health and care technologies. *Journal of Medical Internet Research*, *19*(11), e367. <https://doi.org/10.2196/jmir.8775>
- Gregory, N. S., Harris, A. L., Robinson, C. R., Dougherty, P. M., Fuchs, P. N., & Sluka, K. A. (2013). An overview of animal models of pain. *The Journal of Pain*, *14*(11), 1255–1269. <https://doi.org/10.1016/j.jpain.2013.06.008>
- Gruss, S., Treister, R., Werner, P., Traue, H. C., Crawcour, S., Andrade, A., & Walter, S. (2015). Pain intensity recognition rates via biopotential feature patterns with support vector machines. *PLOS ONE*, *10*(10), e0140330. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0140330>
- Guerra-Armas, J., Flores-Cortes, M., Pineda-Galan, C., Luque-Suarez, A., & La Touche, R. (2023). Role of Immersive Virtual Reality in Motor Behaviour Decision-Making in Chronic Pain Patients. *Brain Sciences*, *13*(4), 617. <https://doi.org/10.3390/brainsci13040617>
- Haase, J., Farris, K. B., & Dorsch, M. P. (2017). Mobile applications to improve medication adherence. *Telemedicine and e-Health*, *23*(2), 75–79. <https://doi.org/10.1089/tmj.2015.0227>
- Hamine, S., Gerth-Guyette, E., Faulx, D., Green, B. B., & Ginsburg, A. S. (2015). Impact of mHealth chronic disease management on treatment adherence and patient outcomes: A systematic review. *Journal of Medical Internet Research*, *17*(2), e52. <https://doi.org/10.2196/jmir.3951>
- Hargreaves, K., Dubner, R., Brown, F., Flores, C., & Joris, J. (1988). A new method for measuring thermal nociception. *Pain*, *32*(1), 77–88. [https://doi.org/10.1016/0304-3959\(88\)90026-7](https://doi.org/10.1016/0304-3959(88)90026-7)
- Hartig, T., Mitchell, R., de Vries, S., & Frumkin, H. (2014). Nature and health. *Annual Review of Public Health*, *35*, 207–228. <https://doi.org/10.1146/annurev-publhealth-032013-182443>
- Hayashi, K., Miki, K., Shiro, Y., Tetsunaga, T., Takasusuki, T., Hosoi, M., & Yukioka, M. (2025). Utilization of telemedicine in conjunction with wearable devices for patients with chronic musculoskeletal pain: A randomized controlled clinical trial. *Scientific Reports*, *15*(1), Article 1396. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-85056-x>
- Health Canada. (2025). *Medical devices active licence listing (MDALL)*. <https://health-products.canada.ca/mdall-limh>
- Hoffman, H. G., Chambers, G. T., Meyer, W. J., III, Arceneaux, L. L., Russell, W. J., Seibel, E. J., Richards, T. L., Sharar, S. R., & Patterson, D. R. (2011). Virtual reality as an adjunctive non-pharmacologic analgesic for acute burn pain during medical procedures. *Annals of Behavioral Medicine*, *41*(2), 183–191. <https://doi.org/10.1007/s12160-010-9248-7>

- Hoffman, H. G., Patterson, D. R., & Carrougher, G. J. (2000). Use of virtual reality for adjunctive treatment of adult burn pain during physical therapy: A controlled study. *The Clinical Journal of Pain*, *16*(3), 244–250. <https://doi.org/10.1097/00002508-200009000-00010>
- Hoffman, H. G., Patterson, D. R., Carrougher, G. J., & Sharar, S. R. (2001). Effectiveness of virtual reality-based pain control with multiple treatments. *The Clinical Journal of Pain*, *17*(3), 229–235. <https://doi.org/10.1097/00002508-200109000-00007>
- Hoffman, H. G., Sharar, S. R., Coda, B., Everett, J. J., Ciol, M., Richards, T., & Patterson, D. R. (2004). Manipulating presence influences the magnitude of virtual reality analgesia. *Pain*, *111*(1–2), 162–168. <https://doi.org/10.1016/j.pain.2004.06.013>
- Hoffmann, T. C., Glasziou, P. P., Boutron, I., Milne, R., Perera, R., Moher, D., Altman, D. G., Barbour, V., Macdonald, H., Johnston, M., Lamb, S. E., Dixon-Woods, M., McCulloch, P., Wyatt, J. C., Chan, A. W., & Michie, S. (2014). Better reporting of interventions: Template for intervention description and replication (TIDieR) checklist and guide. *BMJ*, *348*, g1687. <https://doi.org/10.1136/bmj.g1687>
- Hohenschurz-Schmidt, D., Ceko, M., & Marchand, S. (2023). *Digital therapeutics in pain treatment [IASP fact sheet]*. International Association for the Study of Pain. <https://www.iasp-pain.org/resources/fact-sheets/digital-therapeutics-in-pain-treatment/>
- Hsu, A. I., & Yttri, E. A. (2021). B-SOiD: An unsupervised algorithm for behavior identification. *Nature Communications*, *12*, 5188. <https://doi.org/10.1038/s41467-021-25420-x>
- Hunter, R., Beattie, M., O'Malley, C., & Gorely, T. (2023). Mobile apps to self-manage chronic low back pain: A realist synthesis exploring what works, for whom and in what circumstances. *PEC Innovation*, *3*, Article 100175. <https://doi.org/10.1016/j.pecinn.2023.100175>
- Ichinose, A., Sano, Y., Osumi, M., Sumitani, M., Kumagaya, S.-I., & Kuniyoshi, Y. (2017). Somatosensory feedback to the cheek during virtual visual feedback therapy enhances pain alleviation for phantom arms. *Neurorehabilitation and Neural Repair*, *31*(8), 717–725. <https://doi.org/10.1177/1545968317718268>
- Insel, T. R. (2017). Digital phenotyping: Technology for a new science of behavior. *JAMA*, *318*(13), 1215–1216. <https://doi.org/10.1001/jama.2017.11295>
- International Medical Device Regulators Forum. (2013). *Software as a medical device (SaMD): Key definitions*. <https://www.imdrf.org>
- International Medical Device Regulators Forum. (2017). *Software as a medical device (SaMD): Clinical evaluation*. <https://www.imdrf.org>
- Jhumka, Z. A., & Abdus-Saboor, I. (2022). Next-generation behavioral sequencing for pain quantification. *Current Opinion in Neurobiology*, *76*, 102598. <https://doi.org/10.1016/j.conb.2022.102598>

- Jiang, M., Mieronkoski, R., Rahmani, A. M., Hagelberg, N., Salanterä, S., & Liljeberg, P. (2017). Ultra-short-term analysis of heart rate variability for real-time acute pain monitoring with wearable electronics. In *2017 IEEE International Conference on Bioinformatics and Biomedicine (BIBM)* (pp. 1025–1032). IEEE. <https://doi.org/10.1109/BIBM.2017.8217798>
- Jobin, A., Ienca, M., & Vayena, E. (2019). The global landscape of AI ethics guidelines. *Nature Machine Intelligence*, *1*(9), 389–399. <https://doi.org/10.1038/s42256-019-0088-2>
- Jones, S., Hue, W., Kelly, R., Barnett, R., Henderson, V., & Sengupta, R. (2021). Determinants of longitudinal adherence in smartphone-based self-tracking for chronic health conditions: Evidence from axial spondyloarthritis. *Proceedings of the ACM on Interactive, Mobile, Wearable and Ubiquitous Technologies*, *5*(1), 16. <https://doi.org/10.1145/3448093>
- Jones, T., Moore, T., & Choo, J. (2016). The impact of virtual reality on chronic pain. *PLOS ONE*, *11*(12), e0167523. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0167523>
- Kamei, T., Kanamori, T., Yamamoto, Y., & Edirippulige, S. (2022). The use of wearable devices in chronic disease management to enhance adherence and improve telehealth outcomes: A systematic review and meta-analysis. *Journal of Telemedicine and Telecare*, *28*(5), 342–359. <https://doi.org/10.1177/1357633X20937573>
- Katz, R. A., Graham, S. S., & Buchman, D. Z. (2025). The need for epistemic humility in AI-assisted pain assessment. *Medicine, Health Care and Philosophy*, *28*, 339–349. <https://doi.org/10.1007/s11019-025-10264-9>
- Keesara, S., Jonas, A., & Schulman, K. (2020). Covid-19 and health care's digital revolution. *New England Journal of Medicine*, *382*(23), e82. <https://doi.org/10.1056/NEJMp2005835>
- Kerckhove, N., Delage, N., Cambier, S., Cantagrel, N., Serra, E., Marcaillou, F., Maindet, C., Picard, P., Martiné, G., Deleens, R., Trouvin, A. P., Fourel, L., Espagne-Dubreuilh, G., Douay, L., Foulon, S., Dufraisse, B., Gov, C., Viel, E., Jedryka, F., Pouplin, S., & Authier, N. (2022). eDOL mHealth app and web platform for self-monitoring and medical follow-up of patients with chronic pain: Observational feasibility study. *JMIR Formative Research*, *6*(3), e30052. <https://doi.org/10.2196/30052>
- Khan, M. A., Koh, R. G. L., Rashidani, S., Liu, T., Tucci, V., Kumbhare, D., & Doyle, T. E. (2024). Cracking the chronic pain code: A scoping review of artificial intelligence in chronic pain research. *Artificial Intelligence in Medicine*, *151*, 102849. <https://doi.org/10.1016/j.artmed.2024.102849>
- Khan, M. U., Chetty, G., Goecke, R., & Fernandez-Rojas, R. (2025). A systematic review of multimodal signal fusion for acute pain assessment systems. *ACM Computing Surveys*. Advance online publication. <https://doi.org/10.1145/3737281>

- Kim, Y., Pyo, S., Lee, S., Park, C., & Song, S. (2025). Estimation of pressure pain in the lower limbs using electrodermal activity, tissue oxygen saturation, and heart rate variability. *Sensors*, 25(3), 680. <https://doi.org/10.3390/s25030680>
- Kissin, I. (2010). The development of new analgesics over the past 50 years. *Anesthesia & Analgesia*, 110(3), 780–789. <https://doi.org/10.1213/ANE.0b013e3181cde882>
- Koonin, L. M., Hoots, B., Tsang, C. A., Leroy, Z., Farris, K., Jolly, B. T., Antall, P., McCabe, B., Zelis, C. B. R., Tong, I., & Harris, A. M. (2020). Trends in the use of telehealth during the emergence of the COVID-19 pandemic United States, January-March 2020. *Morbidity and Mortality Weekly Report*, 69(43), 1595–1599.
- Koumpouros, Y., & Georgoulas, A. (2023). Pain management mobile applications: A systematic review of commercial and research efforts. *Sensors*, 23(15), 6965. <https://doi.org/10.3390/s23156965>
- Koydemir, H. C., & Ozcan, A. (2018). Wearable and implantable sensors for biomedical applications. *Annual Review of Analytical Chemistry*, 11(1), 127–146. <https://doi.org/10.1146/annurev-anchem-061417-125956>
- Kruse, C. S., et al. (2016). Evaluating barriers to adopting telemedicine worldwide: A systematic review. *Journal of Medical Systems*, 40(2), 1–16. <https://doi.org/10.1007/s10916-015-0377-5>
- Kruse, C., Betancourt, J., Ortiz, S., Valdes Luna, S. M., Bamrah, I. K., & Segovia, N. (2019). Barriers to the use of mobile health in improving health outcomes in developing countries: Systematic review. *Journal of Medical Internet Research*, 21(10), e13263. <https://doi.org/10.2196/13263>
- La Touche, R., Alemany, A. P., & Armas, J. G. (2023). Sesgos atencionales y estrategias de distracción: Implicaciones para la comprensión y tratamiento del dolor. *Journal of MOVE and Therapeutic Science*, 5(2), m44. <https://publicaciones.lasallecampus.es/index.php/MOVE/article/view/1152>
- Langford, D. J., Bailey, A. L., Chanda, M. L., et al. (2010). Coding facial expressions of pain in mice. *Nature Methods*, 7(6), 447–449. <https://doi.org/10.1038/nmeth.1455>
- Latulippe, K., Hamel, C., & Giroux, D. (2017). Social health inequalities and eHealth: A literature review with qualitative synthesis of theoretical and empirical studies. *Journal of Medical Internet Research*, 19(4), e136. <https://doi.org/10.2196/jmir.6731>
- Le Bars, D., Gozariu, M., & Cadden, S. W. (2001). Animal models of nociception. *Pharmacological Reviews*, 53(4), 597–652.
- LeCun, Y., Bengio, Y., & Hinton, G. (2015). Deep learning. *Nature*, 521(7553), 436–444. <https://doi.org/10.1038/nature14539>
- Legrain, V., Iannetti, G. D., Plaghki, L., & Mouraux, A. (2009). The pain matrix reloaded: A salience detection system for the body. *Progress in Neurobiology*, 93(1), 111–124. <https://doi.org/10.1016/j.pneurobio.2010.10.005>

- Liu, R., Gutiérrez, R., Mather, R. V., Stone, T. A. D., Santa Cruz Mercado, L. A., Bharadwaj, K., Johnson, J., Das, P., Balanza, G., Uwanaka, E., Sydloski, J., Chen, A., Hagood, M., Bittner, E. A., & Purdon, P. L. (2023). Development and prospective validation of postoperative pain prediction from preoperative EHR data using attention-based set embeddings. *npj Digital Medicine*, 6, 209. <https://doi.org/10.1038/s41746-023-00947-z>
- Liyanage, A., Irfaan, S., Moonesinghe, L., Kasturiaratchi, K., Perrin, F. C., & Hussein, R. (2025). Reporting digital health implementations based on the iCHECK-DH guidelines and checklist: Development of an interactive toolkit. *Journal of Medical Internet Research*, 27, e74235. <https://www.jmir.org/2025/1/e74235>
- Longo, M. R., Betti, V., Aglioti, S. M., & Haggard, P. (2009). Visually induced analgesia: Seeing the body reduces pain. *The Journal of Neuroscience*, 29(39), 12125–12130. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.3072-09.2009>
- Lopez, C., Halje, P., & Blanke, O. (2008). Body ownership and embodiment: Vestibular and multisensory mechanisms. *Neurophysiologie Clinique*, 38(3), 149–161. <https://doi.org/10.1016/j.neucli.2007.12.006>
- Loudon, K., Treweek, S., Sullivan, F., Donnan, P., Thorpe, K. E., & Zwarenstein, M. (2015). The PRECIS-2 tool: Designing trials that are fit for purpose. *BMJ*, 350, h2147. <https://doi.org/10.1136/bmj.h2147>
- Luxem, K., Fuhrmann, F., Kürsch, J., et al. (2022). Behavioral structure from deep embeddings. *Communications Biology*, 5, 1265. <https://doi.org/10.1038/s42003-022-04080-7>
- MacIntyre, E., Sigerseth, M., Larsen, T. F., Fersum, K. V., Meulders, M., Meulders, A., Michiels, B., Braithwaite, F. A., & Stanton, T. R. (2023). Get your head in the game: A replicated single-case experimental design evaluating the effect of a novel virtual reality intervention in people with chronic low back pain. *The Journal of Pain*, 24(8), 1449–1464. <https://doi.org/10.1016/j.jpain.2023.03.013>
- Maddox, T., Oldstone, L., Sackman, J., Maddox, R., Adair, T., Ffrench, K., Sparks, C., & Darnall, B. D. (2024). Twelve-month results for a randomized sham-controlled effectiveness trial of an in-home skills-based virtual reality program for chronic low back pain. *Pain Reports*, 9(5), e1182. <https://doi.org/10.1097/PR9.0000000000001182>
- Malasinghe, L. P., Ramzan, N., & Dahal, K. (2019). Remote patient monitoring: A comprehensive study. *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*, 10(1), 57–76. <https://doi.org/10.1007/s12652-017-0598-x>
- Mallari, B., Spaeth, E. K., Goh, H., & Boyd, B. S. (2019). Virtual reality as an analgesic for acute and chronic pain in adults: A systematic review and meta-analysis. *Journal of Pain Research*, 12, 2053–2085. <https://doi.org/10.2147/JPR.S200498>
- Malloy, K. M., & Milling, L. S. (2010). The effectiveness of virtual reality distraction for pain reduction: A systematic review. *Clinical Psychology Review*, 30(8), 1011–1018. <https://doi.org/10.1016/j.cpr.2010.07.001>

- Mancini, F., Longo, M. R., Canzoneri, E., Vallar, G., & Haggard, P. (2013). Multisensory modulation of nociception. *European Journal of Neuroscience*, *37*(5), 768–776. <https://doi.org/10.1111/ejn.12080>
- Matamala-Gomez, M., Bottiroli, S., Realdon, O., Riva, G., Galvagni, L., Platz, T., Sandrini, G., De Icco, R., & Tassorelli, C. (2021). Telemedicine and virtual reality at time of COVID-19 pandemic: An overview for future perspectives in neurorehabilitation. *Frontiers in Neurology*, *12*, 646902. <https://doi.org/10.3389/fneur.2021.646902>
- Matamala-Gomez, M., Donegan, T., Bottiroli, S., Sandrini, G., Sanchez-Vives, M. V., & Tassorelli, C. (2019). Immersive virtual reality and virtual embodiment for pain relief. *Frontiers in Human Neuroscience*, *13*, 279. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2019.00279>
- Matamala-Gomez, M., Maselli, A., Malighetti, C., Realdon, O., Mantovani, F., & Riva, G. (2021). Virtual body ownership illusions for mental health: A narrative review. *Journal of Clinical Medicine*, *10*(1), 139. <https://doi.org/10.3390/jcm10010139>
- Matamala-Gomez, M., Nierula, B., Donegan, T., & Slater, M. (2019). Immersive virtual reality and virtual embodiment for pain relief. *Frontiers in Human Neuroscience*, *13*, 279. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2019.00279>
- Matamala-Gomez, M., Slater, M., Birbaumer, N., & Sitaram, R. (2019). Virtual reality in chronic pain management: A scoping review. *Journal of Pain Research*, *12*, 1129–1141. <https://doi.org/10.2147/JPR.S191749>
- Mathis, A., Mamidanna, P., Cury, K. M., et al. (2018). DeepLabCut: Markerless pose estimation. *Nature Neuroscience*, *21*(9), 1281–1289. <https://doi.org/10.1038/s41593-018-0209-y>
- Mattison, G., Canfell, O., Forrester, D., Dobbins, C., Smith, D., Töyräs, J., & Sullivan, C. (2022). The influence of wearables on health care outcomes in chronic disease: Systematic review. *Journal of Medical Internet Research*, *24*(7), e36690. <https://doi.org/10.2196/36690>
- Mayol, J. (2024). Digital solutions and health sciences. *Cirugía Española (English Edition)*, *102*, S3–S7. <https://doi.org/10.1016/j.cireng.2023.11.011>
- McConnell, R., Lane, E., Webb, G., LaPeze, D., Grillo, H., & Fritz, J. (2024). A multicenter feasibility randomized controlled trial using a virtual reality application of pain neuroscience education for adults with chronic low back pain. *Annals of Medicine*, *56*(1), 2311846. <https://doi.org/10.1080/07853890.2024.2311846>
- Medicines and Healthcare products Regulatory Agency. (2025). *Public access registration database (PARAD)*. <https://www.gov.uk>
- Medina, S., Clarke, S., & Hughes, S. (2024). Virtual reality-based analgesia: Towards a novel framework for the biopsychosocial management of chronic pain. *British Journal of Anaesthesia*, *133*(3), 486–490. <https://doi.org/10.1016/j.bja.2024.06.005>

- Meier, T. A., Refahi, M. S., Hearne, G., et al. (2024). The role and applications of artificial intelligence in the treatment of chronic pain. *Current Pain and Headache Reports*, 28(8), 769–784. <https://doi.org/10.1007/s11916-024-01264-0>
- Milgram, P., & Kishino, F. (1994). A taxonomy of mixed reality visual displays. *IEICE Transactions on Information and Systems*, E77-D(12), 1321–1329.
- Mogil, J. S. (2009). Animal models of pain. *Nature Reviews Neuroscience*, 10(4), 283–294. <https://doi.org/10.1038/nrn2606>
- Mogil, J. S. (2019). The translatability of pain across species. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, 374, 20190286. <https://doi.org/10.1098/rstb.2019.0286>
- Moman, R. N., Dvorkin, J., Pollard, E. M., Wanderman, R., Murad, M. H., Warner, D. O., et al. (2019). A systematic review and meta-analysis of unguided electronic and mobile health technologies for chronic pain—Is it time to start prescribing electronic health applications? *Pain Medicine*, 20(11), 2238–2255. <https://doi.org/10.1093/pm/pnz164>
- Morcillo-Muñoz, Y., Sánchez-Guarnido, A. J., Calzón-Fernández, S., & Baena-Parejo, I. (2022). Multimodal chronic pain therapy for adults via smartphone: Randomized controlled clinical trial. *Journal of Medical Internet Research*, 24(5), e36114. <https://doi.org/10.2196/36114>
- Moreau, S., Théron, A., Cerda, I. H., Studer, K., Pan, A., Tharpe, J., Crowther, J. E., Abd-Elsayed, A., Gilligan, C., Tolba, R., Ashina, S., Schatman, M. E., Kaye, A. D., Yong, R. J., & Robinson, C. L. (2024). Virtual reality in acute and chronic pain medicine: An updated review. *Current Pain and Headache Reports*, 28(9), 893–928. <https://doi.org/10.1007/s11916-024-01246-2>
- Moreno-Ligero, M., Moral-Munoz, J. A., Salazar, A., & Failde, I. (2023). mHealth Intervention for Improving Pain, Quality of Life, and Functional Disability in Patients With Chronic Pain: Systematic Review. *JMIR mHealth and uHealth*, 11, e40844. <https://doi.org/10.2196/40844>
- Mouraux, A., Bannister, K., Becker, S., et al. (2021). Translational pain research challenges. *European Journal of Pain*, 25(4), 731–756. <https://doi.org/10.1002/ejp.1730>
- Murphy, E., Toor, T., Palyo, S., Librodo, S., Schopmeyer, K., Simmons, A. N., & Strigo, I. A. (2024). Comparing pain outcomes and treatment adherence between in-person and virtual interdisciplinary pain rehabilitation programs at the San Francisco VA Health Care System. *The Clinical Journal of Pain*, 40(11), 655–664. <https://doi.org/10.1097/AJP.0000000000001243>
- Murray, C. D., Patchick, E. L., Caillette, F., Howard, T., & Pettifer, S. (2007). Immersive virtual reality as a rehabilitative technology for phantom limb experience: A protocol. *CyberPsychology & Behavior*, 10(3), 307–312. <https://doi.org/10.1089/cpb.2006.9998>

- Murray, E., Hekler, E. B., Andersson, G., Collins, L. M., Doherty, A., Hollis, C., ... Wyatt, J. C. (2016). Evaluating digital health interventions: Key questions and approaches. *American Journal of Preventive Medicine*, 51(5), 843–851. <https://doi.org/10.1016/j.amepre.2016.06.008>
- Najm, A., Gossec, L., Weill, C., Benoist, D., Berenbaum, F., & Nikiphorou, E. (2019). Mobile health apps for self-management of rheumatic and musculoskeletal diseases: Systematic literature review. *JMIR mHealth and uHealth*, 7(11), e14730. <https://doi.org/10.2196/14730>
- Niki, K., Okamoto, Y., Maeda, I., Mori, I., Ishii, R., Matsuda, Y., Kimura, T., & Yamaguchi, T. (2019). Virtual reality relaxation for palliative care patients: A feasibility study. *Palliative Medicine*, 33(6), 792–794. <https://doi.org/10.1177/0269216319844777>
- Observatorio Nacional de Tecnología y Sociedad. (2022). *Uso de tecnología en los hogares españoles*. Ministerio de Asuntos Económicos y Transformación Digital. <https://doi.org/10.30923/094-22-016-8>
- Ogawa, T., Castelo-Branco, L., Hatta, K., & Usui, C. (2022). Association between step count measured with a smartphone app (Pain-Note) and pain level in patients with chronic pain: Observational study. *JMIR Formative Research*, 6(4), e23657. <https://doi.org/10.2196/23657>
- Ortiz-Catalan, M., Guðmundsdóttir, R. A., Kristoffersen, M. B., Zepeda-Echavarria, A., Caine-Winterberger, K., Kulbacka-Ortiz, K., Widehammar, C., Eriksson, K., Stockselius, A., Ragnö, C., Pihlar, Z., Burger, H., Hermansson, L., & Brånemark, R. (2016). Phantom motor execution facilitated by machine learning and augmented reality as treatment for phantom limb pain. *The Lancet*, 388(10062), 2885–2894. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(16\)31598-7](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(16)31598-7)
- Panavaranan, P., & Wongsawat, Y. (2013). EEG-based pain estimation via fuzzy logic and polynomial kernel support vector machine. In *Proceedings of the 2013 Biomedical Engineering International Conference* (pp. 1–4).
- Papadomanolakis-Pakis, N., Munch, P. V., Carlé, N., Uhrbrand, C. G., Haroutounian, S., & Nikolajsen, L. (2024). Prognostic clinical prediction models for acute post-surgical pain in adults: A systematic review. *Anaesthesia*, 79(12), 1335–1347. <https://doi.org/10.1111/anae.16429>
- Patel, P. M., Green, M., Tram, J., Wang, E., Murphy, M. Z., Abd-Elseyed, A., & Chakravarthy, K. (2024). Beyond the pain management clinic: The role of AI-integrated remote patient monitoring in chronic disease management—A narrative review. *Journal of Pain Research*, 17, 4223–4237. <https://doi.org/10.2147/JPR.S494238>
- Patterson, D. G., Wilson, D., Fishman, M. A., et al. (2023). Wearable measures and chronic pain. *npj Digital Medicine*, 6, 146. <https://doi.org/10.1038/s41746-023-00892-x>
- Pourmand, A., Davis, S., Marchak, A., Whiteside, T., & Sikka, N. (2018). Virtual reality as a clinical tool for pain management. *Current Pain and Headache Reports*, 22(8), 53. <https://doi.org/10.1007/s11916-018-0708-2>

- Pritzlaff, S. G., et al. (2025). Telehealth is crucial for pain medicine: Patients and providers agree. *Pain Medicine*, 2025, 1057–1059. <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC11881763/>
- Provan, S. A., Calogiuri, G., Røset, L., Mariussen, M., Rosøy, I., Johnsen, T. J., Johansen, T., Flaten, O. E., & Litleskare, S. (2025). VR-guided exercise and mindfulness program for people with chronic pain: A randomised controlled cross-over pilot trial. *BMC Sports Science, Medicine and Rehabilitation*, 17(1), 55. <https://doi.org/10.1186/s13102-025-01102-9>
- Public Health Ontario. (2023). *Barriers and strategies to equity in digital health programs and services: Evidence brief*. Public Health Ontario.
- Rajwal, S. (2024). Decade of natural language processing in chronic pain: A systematic review. *arXiv*, 2412.15360. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2412.15360>
- Rice, A. S. C., Smith, B. H., & Blyth, F. M. (2016). Pain and the global burden of disease. *Pain*, 157(4), 791–796. <https://doi.org/10.1097/j.pain.0000000000000454>
- Rohaj, A., & Bulaj, G. (2023). Digital therapeutics (DTx) expand multimodal treatment options for chronic low back pain: The nexus of precision medicine, patient education, and public health. *Healthcare*, 11(10), 1469. <https://doi.org/10.3390/healthcare11101469>
- Roy, J., Levy, D. R., & Senathirajah, Y. (2022). Defining Telehealth for Research, Implementation, and Equity. *Journal of medical Internet research*, 24(4), e35037. <https://doi.org/10.2196/35037>
- Rudnick, W., Mukhi, S. N., Reid-Smith, R. J., German, G. J., Nichani, A., Mulvey, M. R., Canadian Public Health Laboratory Network Antimicrobial Resistance Working Group, & Canadian Animal Health Laboratorians Network Antimicrobial Susceptibility Testing Working Group. (2022). Overview of Canada's antimicrobial resistance network (AMRNet): A data-driven One Health approach to antimicrobial resistance surveillance. *Canada Communicable Disease Report*, 48(11–12), 522–528. <https://doi.org/10.14745/ccdr.v48i1112a05>
- Russell, S. J., & Norvig, P. (2020). *Artificial intelligence: A modern approach* (4th ed.). Pearson.
- Ryu, G., Choi, J. M., Seok, H. S., Lee, J., Lee, E.-K., Shin, H., & Choi, B.-M. (2025). Machine learning based quantitative pain assessment for the perioperative period. *npj Digital Medicine*, 8, 53. <https://doi.org/10.1038/s41746-024-01362-8>
- Ryu, J. H., Han, S. H., Hwang, S. M., Lee, J., Do, S. H., Kim, J. H., & Park, J. W. (2022). Effects of virtual reality education on procedural pain and anxiety during venipuncture in children: A randomized clinical trial. *Frontiers in Medicine*, 9, 849541. <https://doi.org/10.3389/fmed.2022.849541>
- Sajdeya, R., & Narouze, S. (2024). Harnessing artificial intelligence for predicting and managing postoperative pain: A narrative literature review. *Current Opinion in Anaesthesiology*, 37(5), 604–615. <https://doi.org/10.1097/ACO.0000000000001408>

- Salama, V., Godinich, B., Geng, Y., Humbert-Vidan, L., Maule, L., Wahid, K. A., Naser, M. A., He, R., Mohamed, A. S. R., Fuller, C. D., & Moreno, A. C. (2024). Artificial intelligence and machine learning in cancer pain: A systematic review. *Journal of Pain and Symptom Management*, *68*(6), E462–E490. <https://doi.org/10.1016/j.jpainsymman.2024.07.025>
- Sandal, L. F., Bach, K., Øverås, C. K., Svendsen, M. J., Dalager, T., Jensen, J. S. D., et al. (2021). Effectiveness of app-delivered, tailored self-management support for adults with lower back pain-related disability: A selfBACK randomized clinical trial. *JAMA Internal Medicine*, *181*(10), 1288–1296. <https://doi.org/10.1001/jamainternmed.2021.4097>
- Sang, L., & Song, L. (2023). The current status of the use of internet hospitals for outpatients with pain: Retrospective study. *Journal of Medical Internet Research*, *25*, e44759. <https://doi.org/10.2196/44759>
- Schmeisser, S., Miccoli, A., von Bergen, M., et al. (2023). NAMs in regulatory toxicology. *Environment International*, *178*, 108082. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2023.108082>
- Seangrung, R., Kooncharoensuk, Y., Tontisirin, N., Pasutharnchat, K., Leerapan, B., Limpoon, S., Thumrin, J., Saelee, W., & Cohen, S. P. (2025). The effectiveness of telemedicine in chronic pain management compared with in-person visits: A 23-month database-audit. *PAIN Reports*, *10*(5), e1336. <https://doi.org/10.1097/PR9.0000000000001336>
- Seas, A., Zachem, T. J., Valan, B., Goertz, C., Nischal, S., Chen, S. F., Sykes, D., Tabarestani, T. Q., Wissel, B. D., Blackwood, E. R., Holland, C., Gottfried, O., Shaffrey, C. I., & Abd-El-Barr, M. M. (2025). Machine learning in the diagnosis, management, and care of patients with low back pain: A scoping review of the literature and future directions. *The Spine Journal*, *25*(1), 18–31. <https://doi.org/10.1016/j.spinee.2024.09.010>
- Senkowski, D., & Heinz, A. (2016). Chronic pain and distorted body representation. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, *69*, 136–147. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2016.08.009>
- Serrano, L. P., Maita, K. C., Avila, F. R., Torres-Guzman, R. A., Garcia, J. P., Eldaly, A. S., et al. (2023). Benefits and challenges of remote patient monitoring as perceived by health care practitioners: A systematic review. *The Permanente Journal*, *27*(4), 100–111. <https://doi.org/10.7812/TPP/23.022>
- Sett, N., Namee, B. M., Calvo, F., Caulfield, B., Costello, J., Donnelly, S., Dorn, J. F., Jeay, L., Keogh, A., McManus, K., Mullan, R. H., O'Hare, E., & Perraudin, C. G. M. (2019). Are you in pain? Predicting pain and stiffness from wearable sensor activity data. In M. Bramer & M. Petridis (Eds.), *SGAI Conference Proceedings* (pp. 183–197). Springer.
- Sewell, F., Alexander, J., White, A., et al. (2024). NAMs adoption challenges. *Toxicology Research*, *13*(2), tfae044. <https://doi.org/10.1093/toxres/tfae044>
- Shaw, T., Hines, M., & Kielly-Carroll, C. (2017). *Digital health: A framework for healthcare transformation*. The University of Sydney. https://www.gslca.org/documents/digital_health-affht.pdf

- Skarbez, R., Smith, M., & Whitton, M. C. (2021). Revisiting Milgram and Kishino's reality-virtuality continuum. *Frontiers in Virtual Reality*, 2, 647997. <https://doi.org/10.3389/frvir.2021.647997>
- Slater, M. (2003). A note on presence terminology. *Presence-Connect*, 3(3), 1–5.
- Slater, M., & Sanchez-Vives, M. V. (2016). Enhancing our lives with immersive virtual reality. *Frontiers in Robotics and AI*, 3, 74. <https://doi.org/10.3389/frobt.2016.00074>
- Slater, M., Spanlang, B., Sanchez-Vives, M. V., & Blanke, O. (2010). First person experience of body transfer in virtual reality. *PLOS ONE*, 5(5), e10564. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0010564>
- Smedslund, G., Østerås, N., & Hestevik, C. H. (2025). Effects of remote patient monitoring on health care utilization in patients with noncommunicable diseases: Systematic review and meta-analysis. *JMIR mHealth and uHealth*, 13, e68464. <https://doi.org/10.2196/68464>
- Sociedad Española de Informática de la Salud. (2018). *La transformación digital del sector salud en España*. <https://seis.es/wp-content/uploads/2018/02/LA-TRANSFORMACION-DIGITAL-DEL-SECTOR-SALUD-EN-ESPA%C3%91A.pdf>
- Sorge, R. E., Martin, L. J., Isbester, K. A., et al. (2014). Olfactory stress and analgesia. *Nature Methods*, 11(6), 629–632. <https://doi.org/10.1038/nmeth.2935>
- Sotocinal, S. G., Sorge, R. E., Zaloum, A., et al. (2011). Rat Grimace Scale. *Molecular Pain*, 7, 55. <https://doi.org/10.1186/1744-8069-7-55>
- Spiegel, B. M. R., Rizzo, A., Persky, S., Liran, O., Wiederhold, B., Woods, S., Donovan, K., Sarkar, K., Xiang, H., Joo, S., Jotwani, R., Lang, M., Paul, M., Senter-Zapata, M., Widmeier, K., & Zhang, H. (2024). What is medical extended reality? A taxonomy defining the current breadth and depth of an evolving field. *Journal of Medical Extended Reality*, 1(1), 4–12. <https://doi.org/10.1089/jmxr.2023.0012>
- SPIRIT. (2013). *SPIRIT 2013 statement: Defining standard protocol items for clinical trials*. EQUATOR Network. <https://www.equator-network.org/reporting-guidelines/spirit-2013-statement-defining-standard-protocol-items-for-clinical-trials/>
- Srinivasan, B., Venkataraman, A., & Raja, S. N. (2024). Artificial intelligence and pain management: Cautiously optimistic. *Pain Management*, 14(7), 331–333. <https://doi.org/10.1080/17581869.2024.2392483>
- Steinhubl, S. R., Muse, E. D., & Topol, E. J. (2015). The emerging field of mobile health. *Science Translational Medicine*, 7(283), 283rv3. <https://doi.org/10.1126/scitranslmed.aaa3487>
- Strehle, E. M., & Shabde, N. (2006). One hundred years of telemedicine: Does this new technology have a place in paediatrics? *Archives of Disease in Childhood*, 91(12), 956–959. <https://doi.org/10.1136/adc.2006.099622>
- Susam, B. T., Akcakaya, M., Nezamfar, H., Diaz, D., Xu, X., de Sa, V. R., et al. (2018). Automated pain assessment using electrodermal activity data and machine learning. En *2018 40th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC)* (pp. 372–375). IEEE. <https://doi.org/10.1109/EMBC.2018.8512389>

- Suso-Ribera, C., et al. (2018). Validity, reliability, feasibility, and usefulness of Pain Monitor: A multidimensional smartphone app for daily monitoring of pain. *Clinical Journal of Pain*, 34(10), 900–908. https://journals.lww.com/clinicalpain/abstract/2018/10000/validity,_reliability,_feasibility,_and_usefulness.3.aspx
- Tannenbaum, J., & Bennett, B. T. (2015). Russell and Burch's 3Rs then and now: the need for clarity in definition and purpose. *Journal of the American Association for Laboratory Animal Science*, 54(2), 120–132.
- Tappe-Theodor, A., & Kuner, R. (2014). Studying ongoing and spontaneous pain in rodents—challenges and opportunities. *The European journal of neuroscience*, 39(11), 1881–1890. <https://doi.org/10.1111/ejn.12643>
- Tappe-Theodor, A., King, T., & Morgan, M. M. (2019). Pros and cons of clinically relevant methods to assess pain in rodents. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 100, 335–343. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2019.03.009>
- Teh, J. J., Pascoe, D. J., Hafeji, S., et al. (2024). Efficacy of virtual reality for pain relief in medical procedures: A systematic review and meta-analysis. *BMC Medicine*, 22, 64. <https://doi.org/10.1186/s12916-024-03266-6>
- Teh, J. J., Pascoe, D. J., Hafeji, S., Parchure, R., Koczoski, A., Rimmer, M. P., Khan, K. S., & Al Wattar, B. H. (2024). Efficacy of virtual reality for pain relief in medical procedures: A systematic review and meta-analysis. *BMC Medicine*, 22, 64. <https://doi.org/10.1186/s12916-024-03266-6>
- Tesarz, J., Herpel, C., Meischner, M., Drusko, A., Friederich, H.-C., Flor, H., & Reichert, J. (2024). Effects of virtual reality on psychophysical measures of pain: Superiority to imagination and nonimmersive conditions. *Pain*, 165(4), 796–810. <https://doi.org/10.1097/j.pain.0000000000003083>
- Thurnheer, S. E., Gravestock, I., Pichierri, G., Steurer, J., & Burgstaller, J. M. (2018). Benefits of mobile apps in pain management: Systematic review. *JMIR mHealth and uHealth*, 6(10), e11231. <https://doi.org/10.2196/11231>
- Tighe, P. J., Harle, C. A., Hurley, R. W., Aytug, H., Boezaart, A. P., & Fillingim, R. B. (2015). Teaching a machine to feel postoperative pain: Combining high-dimensional clinical data with machine learning algorithms to forecast acute postoperative pain. *Pain Medicine*, 16(7), 1386–1401. <https://doi.org/10.1111/pme.12713>
- Topol, E. (2019). *Deep medicine: How artificial intelligence can make healthcare human again*. Basic Books.
- Tracey, I., Woolf, C. J., & Andrews, N. A. (2019). Composite Pain biomarker signatures. *Neuron*, 101(5), 783–800. <https://doi.org/10.1016/j.neuron.2019.02.019>
- Trillo-Charlín, I., Bravo-Aparicio, J., Avendaño-Coy, J., & Beltrán-Alacreu, H. (2026). Impact of 4 weeks or more immersive virtual reality on quality of life and physical activity in older adults: Systematic review and meta-analysis. *JMIR Aging*, 9, e80820. <https://doi.org/10.2196/80820>

- Turvill, A., Maratos, F., & Sheffield, D. (2026). Assessing the Impact of Interdisciplinary Multimodal Pain Treatment on Health-Related Quality of Life in Chronic Pain: A Systematic Review and Meta-Analyses. *European journal of pain*, 30(1), e70176. <https://doi.org/10.1002/ejp.70176>
- U.S. Department of Health & Human Services. (2025). *Licensing across state lines*. <https://telehealth.hhs.gov/licensure/licensing-across-state-lines>
- U.S. Food and Drug Administration. (2021). *Artificial intelligence and machine learning software as a medical device action plan*. <https://www.fda.gov/medical-devices/software-medical-device-samd/artificial-intelligence-software-medical-device>
- Van Ryckeghem, D. M. L., Van Damme, S., & Eccleston, C. (2018). Attentional distraction and pain: A meta-analysis. *Clinical Psychology Review*, 59, 42–56. <https://doi.org/10.1016/j.cpr.2017.10.008>
- Viderman, D., Tapinova, K., Dossov, M., Seitenov, Y. G., & Abdildin, Y. G. (2023). Virtual reality for pain management: An umbrella review. *Frontiers in Medicine*, 10, 1203670. <https://doi.org/10.3389/fmed.2023.1203670>
- Vitali, D., Olugbade, T., Eccleston, C., et al. (2024). Sensing behavior change in chronic pain: A scoping review of sensor technology for use in daily life. *Pain*, 165(6), 1348–1360. <https://doi.org/10.1097/j.pain.0000000000003134>
- Vlake, J. H., Drop, D. L. Q., Van Bommel, J., et al. (2024). Reporting guidelines for the early-phase clinical evaluation of applications using extended reality: RATE-XR qualitative study guideline. *Journal of Medical Internet Research*, 26, e56790. <https://www.jmir.org/2024/1/e56790>
- Vorenkamp, K. E., et al. (2022). Challenges in utilizing telehealth for chronic pain. *Pain Medicine*, 23(7), 1269–1275. <https://doi.org/10.1093/pm/pnac033>
- Wang, Y., Aaron, R., Attal, N., & Colloca, L. (2025). An update on non-pharmacological interventions for pain relief. *Cell Reports Medicine*, 6(2):101940. <https://doi.org/10.1016/j.xcrm.2025.101940>
- Weatherly, S., McKenna, T., Wahba, S., Friedman, A., Goltry, W., Wahid, T., et al. (2024). Effectiveness of digital health interventions (DHI) in chronic pain management: A scoping review of current evidence and emerging trends. *Cureus*, 16(10), e72562. <https://doi.org/10.7759/cureus.72562>
- WFNR Telerehabilitation SIG. (2025). *Definition of telerehabilitation*. World Federation of Neurorehabilitation. <https://www.wfnr.co.uk/downloads/definition-of-telerehabilitation-v4-14.1.25.pdf>
- Wieczorek, M., O'Brolchain, F., Saghai, Y., & Gordijn, B. (2023). The ethics of self-tracking: A comprehensive review of the literature. *Ethics & Behavior*, 33(4), 239–271. <https://doi.org/10.1080/10508422.2022.2082969>
- Wiederhold, B. K., Gao, K., Sulea, C., & Wiederhold, M. D. (2014). Virtual reality as a distraction technique in chronic pain patients. *Cyberpsychology, Behavior, and Social Networking*, 17(6), 346–352. <https://doi.org/10.1089/cyber.2014.0207>

- Wiltschko, A. B., Johnson, M. J., Iurilli, G., et al. (2015). Mapping sub-second structure in mouse behavior. *Neuron*, 88(6), 1121–1135. <https://doi.org/10.1016/j.neuron.2015.11.031>
- Wolf, C. J. (2010). Overcoming obstacles to developing new analgesics. *Nature Medicine*, 16(11), 1241–1247. <https://doi.org/10.1038/nm.2230>
- Wolf, C. J. (2011). Central sensitization: Implications for the diagnosis and treatment of pain. *Pain*, 152(3 Suppl), S2–S15. <https://doi.org/10.1016/j.pain.2010.09.030>
- World Health Organization. (2011). *mHealth: New horizons for health through mobile technologies*. World Health Organization. http://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/44607/9789241564250_eng.pdf?sequence=1
- World Health Organization. (2021). *Global strategy on digital health 2020–2025*. World Health Organization. <https://www.who.int/publications/i/item/9789240020924>
- World Health Organization. (2022). *Consolidated telemedicine implementation guide*. <https://www.who.int/publications/i/item/9789240059184>
- World Health Organization. (2024). *Telehealth quality of care tool*. <https://iris.who.int/server/api/core/bitstreams/7e6d0958-8941-469c-ac0f-e0c879b3dad4/content>
- Yeziarski, R. P., & Hansson, P. (2018). Inflammatory and neuropathic pain from bench to bedside: What went wrong? *The Journal of Pain*, 19(6), 571–588. <https://doi.org/10.1016/j.jpain.2017.12.261>
- Yuguero Torres, O., Lopez-Vena, I., Pardos, C., Gros, S., Llobet, C., & Viladrosa, M. (2026). The use of immersive virtual reality in reducing anxiety among emergency healthcare professionals. *Cureus*, 18(2), e104170. <https://doi.org/10.7759/cureus.104170>
- Zampolini, M., Todeschini, E., Guitart, M., Hermens, H., Ilsbrouckx, S., Macellari, V., et al. (2008). Tele-rehabilitation: Present and future. *Annali dell'Istituto Superiore di Sanità*, 44, 125–134.
- Zhang, M., Zhu, L., Lin, S. Y., et al. (2023). Using artificial intelligence to improve pain assessment and pain management: A scoping review. *Journal of the American Medical Informatics Association*, 30(3), 570–587. <https://doi.org/10.1093/jamia/ocac231>
- Zheng, F., Liu, S., Zhang, S., Yu, Q., Lo, W. L. A., Li, T., et al. (2022). Does m-health-based exercise (guidance plus education) improve efficacy in patients with chronic low-back pain? A preliminary report on the intervention's significance, treatment effects, and mediation analysis. *Trials*, 23, Article 190. <https://doi.org/10.1186/s13063-022-06116-z>
- Zhou, L., Bao, J., Watzlaf, V., & Parmanto, B. (2019). Barriers to and facilitators of the use of mobile health apps from a security perspective: Mixed-methods study. *JMIR mHealth and uHealth*, 7(4), e11223. <https://doi.org/10.2196/11223>
- Zubrow, M. T., et al. (2015). Legal, regulatory, and ethical issues in the use of telemedicine. En R. Cross y A. Watson (eds.), *Telemanagement of inflammatory bowel disease* (pp. 153–177). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-22285-1_10

REVISORES

Elizabeth J. Baldeón Chávez
Héctor Beltrán Alacreu
Ignasi Capella Ballbé
José Ferrer Costa
Raúl Ferrer Peña
Nuria García Dopico
Rafael González Cano
Javier Guerra Armas
José Javier López Marcos
Marta Matamala-Gómez
José Antonio Moral Muñoz
Marta Moreno Ligero
Alejandro Proy Acosta
Eva Tordera Nuño

El dolor constituye uno de los grandes retos clínicos, sociales y económicos de los sistemas sanitarios actuales. Su abordaje exige modelos de atención más personalizados, continuos, interdisciplinarios y centrados en la persona. En este contexto, la salud digital ofrece nuevas oportunidades para mejorar la evaluación, el tratamiento, el seguimiento y la educación de las personas con dolor, siempre que su incorporación se realice con criterio clínico, rigor científico y sensibilidad ética.

Este libro presenta una visión actual, aplicada y crítica de las principales tecnologías digitales vinculadas al manejo del dolor. A lo largo de sus capítulos se revisan los fundamentos de la salud digital, sus beneficios y limitaciones, los procesos de innovación e ideación, así como el papel emergente de las terapias digitales como intervenciones reguladas, evaluables y potencialmente integrables en la práctica clínica. También se abordan la telemedicina y la telerrehabilitación, destacando su utilidad en modelos híbridos de atención, la selección de herramientas según objetivos clínicos y las condiciones necesarias para una implementación segura y efectiva.

La obra dedica especial atención a la monitorización digital del dolor, incluyendo tecnologías disponibles, aplicaciones basadas en evidencia, comparación con métodos tradicionales, barreras actuales y criterios prácticos para el profesional. Asimismo, profundiza en el uso de la realidad extendida en el manejo del dolor, desde sus fundamentos neurocientíficos hasta sus mecanismos de acción, dosificación, integración clínica y perspectivas futuras. La inteligencia artificial ocupa también un lugar central, con una revisión de sus fundamentos, aplicaciones, desafíos regulatorios y éticos, evidencia disponible y posibles marcos de decisión para su uso responsable en contextos sanitarios.

Más allá de describir herramientas, este libro propone una reflexión necesaria: la tecnología no debe entenderse como sustituto del cuidado humano, sino como complemento capaz de ampliar, personalizar y mejorar la atención cuando responde a necesidades clínicas reales. Frente al entusiasmo acrítico y frente al rechazo automático de la innovación, se plantea una mirada equilibrada, exigente y orientada al valor.

Dirigido a profesionales sanitarios, investigadores, docentes, estudiantes y responsables de innovación, este libro ofrece una guía clara para comprender el presente y el futuro de la salud digital aplicada al dolor. Su objetivo es contribuir a un ecosistema digital clínicamente útil, éticamente responsable y verdaderamente centrado en las personas.