

# *Estimulación cerebral no invasiva y realidad virtual; tratamientos innovadores para el dolor crónico*



**Selma Delgado**  
**Oficina de investigación e innovación. BBHI**  
**Institut Guttmann**



**Alba Prats**  
**Oficina de investigación e innovación. Proyecto Prehabilita**  
**Institut Guttmann**

## *Definamos qué es dolor*

La mayoría de las personas han sentido dolor alguna vez en su vida, pero ¿qué es el dolor? Según la Asociación Internacional para el Estudio del Dolor (IASP, por sus siglas en inglés) el dolor es “una experiencia sensorial y emocional desagradable, que se acompaña de un daño en el tejido real o potencial o descrito en términos de este daño”. La función del dolor es, gracias a las células encargadas de la

nocicepción (los nociceptores), detectar y alertar al sistema nervioso de que el organismo puede lesionarse. Así, el organismo intenta evitar o limitar el daño y hacer frente al estrés que este ocasiona. Cuando, por ejemplo, estamos cocinando y sentimos que nos quemamos, rápidamente apartamos la mano.

Para que el dolor suceda, diferenciamos cuatro fases a nivel neurofisiológico. Las dos primeras, la transducción y la transmisión, se refieren a la propagación del estímulo nociceptivo hasta el sistema nervioso central. Las dos últimas, la percepción y la modulación descendente se encargan de, por una parte, activar estructuras cerebrales para interpretar y procesar el dolor, y por otra, liberar neurotransmisores y neuromoduladores que actúan como sistema endógeno (conocido como el analgésico natural). En este artículo nos centraremos en estas dos últimas fases del procesamiento del dolor.



*La función del dolor es, gracias a las células encargadas de la nocicepción (los nociceptores), detectar y alertar al sistema nervioso de que el organismo puede lesionarse. Así el organismo intenta evitar o limitar el daño y hacer frente al estrés que este ocasiona.*

La percepción del dolor de cada individuo es única e incomparable, ya que está determinada por varios factores: el contexto del dolor, las experiencias previas dolorosas y las emociones o los pensamientos que estén relacionados. Por ejemplo, si un jugador de fútbol se lesionó en un partido, sentirá más dolor si su equipo estaba perdiendo que si estaba ganando. El pinchazo que sentimos durante una extracción de sangre será diferente si le tene-

mos miedo a las agujas o no, si hemos tenido experiencias previas desagradables o si el o la profesional que la practica nos sonríe o no. Nuestro cerebro contextualiza el dolor y se encarga de amplificar o disminuir la intensidad dependiendo del riesgo que le atribuya a esa situación.

#### *Clasificación del dolor*

Por definición, el dolor recurrente que perdura más de 3 a 6 meses y con una ampliación del tiempo de curación es conocido como dolor crónico. Se trata de una condición muy frecuente, ya que afecta a entre un 17 % y un 33 % de la población adulta europea, pero a menudo está infravalorada, puesto que es el resultado de múltiples factores (físicos, emocionales y cognitivos) y su impacto es difícil de medir. Si bien el término de dolor crónico hace referencia a la duración de este, es importante destacar que existen varias clasificaciones del dolor.

Podríamos diferenciar tres grandes tipos de dolor crónico: dolor nociceptivo (o dolor “normal”), dolor neuropático y dolor nociplástico.

**El dolor nociceptivo** se refiere a un dolor fisiológico cuya misión principal es, como ya hemos descrito anteriormente, la de alertar al cuerpo de un daño tisular, real o potencial, como, por ejemplo, el dolor de una quemadura o de una contusión.

El segundo, **el dolor neuropático**, está causado por una lesión o disfunción del sistema nervioso, ya sea central o periférico. Los síntomas más conocidos del dolor neuropático son los dolores espontáneos y de aparición brusca, como la quemazón. Suele ir acompañado de signos positivos, como un aumento de la sensibilidad al dolor (hiperalgesia) o sensaciones anormales sin estímulo previo (hormigueo, acorcharamiento), y negativos, como pérdida de sensibilidad al tacto. Un fenómeno muy común cuando la lesión está fuera del sistema nervioso central es la sensibilización periférica, relacionada con el tejido dañado o inflamado. Cuando, por ejemplo, nos lesionamos un nervio, ya sea por un corte, por estiramiento o por mucha presión sobre él, el cuerpo intenta regenerar

la zona lesionada soltando un torrente de factores químicos que aumentarán la respuesta y reducirán los umbrales de los nervios nociceptivos en la periferia de esa lesión, causando, por ejemplo, más sensibilidad al tacto o cuando exponemos la zona al calor.

En neurorrehabilitación, el dolor neuropático es especialmente importante, ya que es muy frecuente en personas con lesiones medulares o que han sufrido un ictus, apareciendo en un 52 % de las personas en el primer año tras la lesión medular.

Finalmente, **el dolor nociplástico**, término sugerido por la comunidad de investigadores del dolor, se caracteriza por un incremento de la sensibilidad de los nociceptores en el sistema nervioso a la entrada de señales no dolorosas. Esta alteración en el procesamiento del dolor, que dificulta la capacidad de modular el dolor (es decir, reducirlo), se denomina sensibilización central, y puede resultar en un incremento en la intensidad y en la respuesta dolorosa en áreas fuera de la lesión inicial (siendo más extenso y multifocal). Suele ir acompañado de otras alteraciones del sistema nervioso central, como la fatiga, el sueño, falta de memoria o estado anímico bajo. Aunque puede ocurrir en cualquier tipo de dolor, es especialmente característico de personas sin una lesión inicial aparente, como fibromial-

gia, o en estados mixtos de dolor (nociceptivo y neuropático), como el dolor lumbar crónico.

#### *El impacto del dolor, un círculo vicioso*

Sea cual sea el origen o el tipo de dolor crónico, tiene un impacto en las actividades de la vida diaria de las personas que lo padecen, como largas bajas laborales y dificultad en las tareas domésticas o en dormir bien. Para evitar o mitigar el dolor, ciertas personas adoptan estrategias y cambios de estilo de vida que, paradójicamente, colaboran en el mantenimiento del dolor, como, por ejemplo, disminuir su ejercicio físico y sus encuentros sociales por miedo a que estas actividades disparen el gatillo del dolor.

Como causa o consecuencia de su dolor y de este impacto, también sufren trastornos emocionales, como depresión, ansiedad, y alteraciones cognitivas (falta de atención, dificultad para planificar y resolver problemas).

#### *El dolor modifica el cerebro*

A largo plazo, el dolor y sus consecuencias se acaban aprendiendo y, como todo aprendizaje, se generan cambios plásticos, pero, en este caso, los llamaremos maladaptativos. Una característica, como hemos comentado anterior-

**ORTOPÈDIA I AJUDES TÈCNIQUES**  
**VENDA I REPARACIÓ DE CADRES DE RÒDOLS ELECTRÒNICS, LLEUGERES I ULTRALLEUGERES • ASSESSORAMENT EN L'ACCESSIBILITAT A LA LLAR I L'ADAPTACIÓ DEL VEHICLE**



Tel: 93 667 75 36  
Carrer Amadeu  
Torner, 51, local  
L'Hospitalet de Llobregat

Contacte directe  
per WhatsApp  
655 497 022

**muévete y accede**  
**le damos alas a tu silla**

miembro de:  


**ACCÉSSIBILITAT**  
**REHABILITACIÓ**  
**MOBILITAT**

**DORMITORI**  
**VIDA DIÀRIA**  
**BCI I ESPORT**

**TRANSFERÈNCIES**  
**ASSESSORAMENT**

[info@mueveteyaccede.es](mailto:info@mueveteyaccede.es)  
[www.mueveteyaccede.es](http://www.mueveteyaccede.es)

mente, es la sensibilidad central, que contribuye al mantenimiento o incluso empeoramiento del dolor. Además, la plasticidad maladaptativa dificulta la capacidad propia del individuo de modular o reducir el dolor, y es uno de los motivos por el que muchos tratamientos suelen ser ineficaces contra el dolor crónico.

Varias áreas cerebrales y redes neuronales son las encargadas de trabajar juntas para percibir el dolor, y su funcionamiento es diferente cuando el dolor es crónico en comparación a cuando es agudo. Un ejemplo de estas alteraciones se puede apreciar gracias a la resonancia magnética funcional. Mediante esta técnica se ha hecho uno de los descubrimientos más importantes de la neurociencia moderna: la existencia de una red neuronal por defecto, en inglés, *default mode network*. ¿Qué funciones tendría esta red?

Este sistema cerebral se ha relacionado con un estado de reposo del cerebro, más conocido como “soñar despierto”, o *mind-wandering* en inglés. Se relaciona también con procesos cognitivos y de predicción, y es esencial para el buen funcionamiento cerebral. Sin embargo, en personas con dolor crónico, su función está alterada y genera un “estado de dolor” constante. Varios estudios han concluido que tener la red por defecto demasiado conectada con ella misma se puede convertir en un enemigo que dificulta desconectar o salir de pensamientos rumiantes focalizados en uno mismo, provocando una introspección excesiva. Es decir, una tendencia a estar constantemente pendiente de los estímulos interoceptivos dolorosos y de los pensamientos catastrofistas que ellos desatan, creando situaciones de ansiedad que pueden convertirse en círculos depresivos.

La buena noticia es que estos estudios de investigación han comprobado que estos cambios corticales son reversibles y modificables, siendo la modulación de la excitabilidad cerebral una aproximación terapéutica prometedora.

#### *Tratamientos del dolor: no solo fármacos*

La importancia de los tratamientos no farmacológicos y la combinación entre ellos es vital para poder abarcar todos los aspectos alterados en el dolor.

El ejercicio físico, los ejercicios de control motor u otras técnicas específicas de fisioterapia, como la terapia de imaginería motora gradual, han demostrado ser altamente eficaces en el tratamiento del dolor, al igual que las terapias cognitivas, como la cognitivo-conductual, o ejercicios de meditación y *mindfulness*. La combinación de estos tratamientos con la educación en el dolor ayudará a un abordaje más completo.

La educación en el dolor tiene como objetivo proveer al paciente de conocimiento sobre su situación física y del dolor para disminuir la percepción de amenaza que pueda generar. Gracias a la educación, los pacientes pueden aumentar el sentido de control sobre su situación médica, motivar a que tengan una actitud proactiva en su situación, ajustar sus expectativas y, de esta manera, reducir los temores, los miedos y los pensamientos erróneos, mejorando así su calidad de vida.

## *Estimulación cerebral no invasiva*

Además de los tratamientos más convencionales, hay tratamientos más innovadores que ya han mostrado mucha eficacia y que, al igual que los anteriores, no son invasivos y son seguros. Nos referimos a las estimulaciones cerebrales no invasivas (ECNI), de las cuales las más conocidas son la estimulación magnética transcraneal (EMT) y la estimulación por corriente directa transcraneal (tDCS). Además, también hay estudios que demuestran que si esta estimulación cerebral la combinamos con la realidad virtual, el resultado terapéutico se amplificará.

Las terapias de estimulación no invasiva se basan en modular la excitabilidad cortical del cerebro, inhibiendo o excitando áreas concretas. Por este motivo, parecen ser el futuro en el tratamiento del dolor, aunque también se han demostrado muy efectivas con otras patologías, como la depresión. Su aplicación excitatoria y en el área motora primaria (M1) del hemisferio contrario al dolor se ha visto relacionada con una activación de los sistemas de inhibición y una reducción de la sobreactivación del tálamo, dando como resultado una disminución del dolor cróni-

co. Además, también se ha observado mejoría en otros tipos de aplicaciones, como en el área dorsolateral prefrontal en dolores generalizados. El protocolo, tanto en EMT como en tDCS, se debe aplicar durante 10 sesiones consecutivas de aproximadamente 20 min cada una. Si el paciente ha notado mejoría, es posible repetirlo al cabo de unos meses.

Respecto al tDCS, su uso se remonta a la época del Imperio romano, cuando el médico del emperador Tiberio Claudio Nerón César describió cómo aplicar un pez torpedo, que puede emitir descargas eléctricas, en el cuero cabelludo para reducir el dolor de cabeza. La versión con la que contamos hoy en día fue aplicada por primera vez en 1998 por Alberto Priori. Es una técnica en la que se aplica una corriente galvánica de baja intensidad sobre el cuero cabelludo para estimular áreas cerebrales específicas. En este caso, hacen falta diferentes electrodos, y su colocación y polarización determinará el tipo de alteración del potencial de membrana del área. La aplicación más común suele contar con dos electrodos, un ánodo



y un cátodo, que permiten despolarizar o hiperpolarizar la membrana, dando como resultado un efecto cerebral excitatorio o inhibitorio, respectivamente. En dolor crónico, como hemos comentado, la estimulación con más evidencia es la anodal en M1 (con una carga de 2 mA y electrodos de 35 cm<sup>2</sup>) y con el cátodo colocado en la zona supraorbital, como podemos observar en la imagen. Se ha comprobado que el efecto analgésico perdura durante las 2 a 6 semanas posteriores. La gran ventaja de la tDCS es que su aplicación permite combinarla durante la estimulación con otras técnicas, como el ejercicio terapéutico o la realidad virtual.

En cuanto a la técnica de EMT, esta se desarrolló en 1984, gracias a los fundamentos de inducción electromagnética descubiertos por Michael Faraday durante el siglo XIX. Carece de electrodos, ya que el pulso de corriente fluye a través de un hilo conductor dentro de una bobina, lo cual genera un campo magnético que induce una corriente eléctrica a otro conductor cercano, que en este caso será el cerebro del sujeto. Otra utilidad de esta herramienta, aparte de la terapéutica, es la exploración neurofisiológica para estudiar la excitabilidad cortical. No obstante, aplicada de forma repetitiva (EMTr) en el área deseada, y dependiendo de

*“Las terapias de estimulación no invasiva se basan en modular la excitabilidad cortical del cerebro, inhibiendo o excitando áreas concretas. Por este motivo parecen ser el futuro en el tratamiento del dolor, aunque también se ha mostrado muy efectivo con otras patologías, como la depresión.”*



la frecuencia de los pulsos, es capaz de modular la actividad cerebral. Además, esta modulación perdura más allá de la estimulación, lo que permite normalizar alteraciones.

## Realidad virtual

El concepto de realidad virtual (RV) nace con la invención de sistemas capaces de generar la percepción de tridimensionalidad de imágenes en 2D. Esto se consigue proyectando la misma imagen dos veces, una para cada ojo. De tal modo que una imagen o escena virtual se convierte en una representación más realista, ya que adquiere profundidad.

El precursor de esta tecnología fue el estereoscopio, inventado en 1838 por Charles Wheatstone. Posteriormente, en 1957, Morton Heilig creó el sensorama, la primera máquina multisensorial de RV. Y en 1968, Ivan Sutherland inventó el considerado primer casco de RV, denominado “espada de Damocles”.

Su definición ha ido evolucionando en el decurso de los últimos años, y actualmente, gracias a la evolución exponen-

cial de la tecnología, la RV es más que una simple visualización de imágenes virtuales. Debe poder llevar al observador al interior de un entorno virtual y responder en tiempo real y realista a los movimientos del cuerpo.

En la RV, el usuario está rodeado por una representación fotorrealista en 3D generada por ordenador, y es capaz de moverse por el mundo virtual y verlo desde diferentes ángulos, para ‘alcanzarlo’, ‘agarrarlo’ y ‘remodelarlo’. Es decir, el usuario tiene la capacidad de interaccionar con el entorno. Finalmente, a través de múltiples canales sensoriales (visual y auditivo,

*“Similar a las bases de terapia con espejo, estas actividades consiguen activar las áreas que se implican en el movimiento, pero sin activar el dolor. Así, podemos eliminar la asociación de movimiento/dolor y, combinado con la estimulación, podemos guiar los cambios plásticos necesarios para reducir el dolor.”*



a veces táctil, incluso olfativo y gustativo, si es posible) el sujeto puede aumentar su sensación de presencia. Cuantos más canales sensoriales y motores del usuario estén conectados al sistema, mayor será el grado de inmersión.

Las aplicaciones que puede ofrecer la tecnología de la RV son muchas y de gran utilidad en diversos sectores. En el campo de la salud se ha adoptado desde hace años por el uso de aplicaciones de RV, ya que ha resultado efectiva, por ejemplo, en el tratamiento de fobias, estrés postraumático, trastornos en la salud mental, como la ansiedad, entre otros. También en la simulación de cirugías, en el entrenamiento de habilidades, en terapias de exposición gradual o para fomentar la recuperación de capacidades cognitivas.

En los últimos años se han llevado a cabo varios estudios, en los que se utiliza la RV como herramienta terapéutica para el tratamiento del dolor, que han demostrado el gran potencial que tiene esta técnica para convertirse en otra aplicación en el ámbito de la salud.

En este artículo nos referimos al uso de la RV como herramienta para maximizar la sensación de presencia a la vez

que sumergimos al paciente en la observación de vídeos de 360º y 3D. El objetivo final será maximizar el grado de inmersión, ya sea con interacción explícita o implícita. La diferencia entre ambos tipos de interacción reside en el hecho de que se tenga que ejecutar alguna acción dentro del entorno o simplemente observarlo.

La RV aplicada al dolor tendrá dos objetivos principales: la distracción y la redirección de los cambios plásticos neuronales. Dentro de las muchas ventajas que se encuentran en la RV, está el poder sumergir al paciente en entornos realistas, pero sin el peligro que ello conlleva, algo muy útil en el caso de fobia al movimiento o de ansiedad, en situaciones que hayan podido provocar a la persona episodios de dolor anteriormente. La sensación de entorno controlado y de seguridad será crucial para una buena rehabilitación del dolor.

Otra ventaja es que, gracias a los juegos serios, como los simuladores de tareas domésticas o juegos de entrenamiento cognitivo, podemos potenciar habilidades que directa o indirectamente mejoran la calidad de vida del paciente.



Por último, apenas hay efectos adversos, siendo estos mareo o leve dolor de cuello por el peso del casco.

Cuando la combinamos con ECNI, usamos diferentes prototipos de experiencias de RV según el paciente, con estilos diferentes de interacción y entorno virtual, y variando el grado de inmersión en función del *feedback* de cada experiencia.

#### *Rehabilitación para dolor en extremidades inferiores*

Una de estas experiencias desarrollada consiste explícitamente en tratar el dolor en las extremidades inferiores; el paciente se ve en primera persona en posición erguida y listo para empezar a andar. Tendrá que realizar el movimiento de brazo típico que acompaña a la marcha y, automáticamente, verá que sus piernas en el mundo virtual empiezan a dar pasos de forma sincronizada con los brazos. Esta aplicación es muy similar a la ya usada desde hace años en Institut Guttmann, en la que la persona se veía a sí misma (como en un espejo) andando gracias al movimiento de sus brazos. Gracias a las neuronas espejo, ya muy conocidas en neurorrehabilitación, en ambas experiencias se intenta conseguir lo mismo: hacer creer al cerebro que se puede andar sin sentir dolor. Similar a las bases de terapia con espejo, estas actividades consiguen activar las áreas que se implican en el movimiento, pero sin activar el dolor. Así, podemos eliminar la asociación de movimiento/dolor y, combinado con la estimulación, podemos guiar los cambios plásticos necesarios para reducir el dolor.

#### *Rehabilitación para dolor en extremidades superiores*

Las extremidades superiores tienen un enfoque diferente, ya que abarcan más funciones. Una experiencia que esta-

*“Los aspectos cognitivos son clave para poder gestionar el dolor o reducir los pensamientos catastrofistas. En pacientes con altos niveles de ansiedad, por ejemplo, se pueden usar vídeos 360º en los que se pueda ver escenas o actividades relajantes.”*

mos usando es un prototipo que sitúa al paciente encima de un kayak en medio de un lago. El objetivo de esta tarea consiste en desarrollar una actividad de tronco superior y entrenar la capacidad de equilibrio, a la vez que se realiza un ejercicio cardiorrespiratorio. También disponemos de juegos comerciales compatibles para utilizar con un sistema de RV, que se basan en, por ejemplo, simulaciones de tareas domésticas. En estos casos, buscamos que las personas muevan sus extremidades, pero les proporcionamos un entorno seguro, controlado, que colabora en la no aparición del dolor.

#### *Otros usos*

Las dos opciones anteriores son muy eficaces en la mayoría de los casos. No obstante, hay un tanto por ciento de los pacientes en los que sus alteraciones sensitivas y motoras o su

nivel de sensibilidad central es tal que, realizándolas, siguen sintiendo dolor. En estas personas es más útil realizar un trabajo de observación de movimiento, como se plantea en la imaginería motora gradual. Las bases son las mismas que las explicadas anteriormente: solo observando movimiento podemos activar aquellas áreas relacionadas con él pero sin dolor y, además, en un entorno inmersivo pero seguro. Unas situaciones pueden ser con el paciente como observador en tercera persona y, en otras, en primera persona. En el caso de dolor de extremidad inferior, se pueden usar vídeos 360º de gente andando, y en el caso de extremidades superiores, podemos ver cómo se desarrolla una actividad manual.

En otras ocasiones, el problema principal no es tanto la intensidad o el tipo de dolor, sino las alteraciones emocionales o cognitivas del paciente. En estos casos, podemos usar un conjunto de prototipos de tareas de neurorrehabilitación de funciones cognitivas, en concreto para la atención visoespacial. Estas también ayudarán a la persona a centrar la atención en una tarea externa y a mejorar su calidad de vida, ya que, como hemos comentado, muchos pacientes tienen alteraciones neuropsicológicas que les impiden llevar una vida normal. Finalmente, los aspectos cognitivos son clave para po-

der gestionar el dolor o reducir los pensamientos catárticos. En pacientes con altos niveles de ansiedad, por ejemplo, se pueden usar vídeos 360º en los que se puedan ver escenas o actividades relajantes.

#### *Disfrutar es lo más importante*

Para acabar, es importante mencionar que es interesante que el terapeuta guíe y acompañe durante este proceso de reaprendizaje, personalizando estas actividades, juegos o escenas según los gustos y preferencias del paciente. De esta forma, nos aseguraremos de que el paciente se sienta a gusto y disfrute de la experiencia. Este tipo de tratamiento no es excluyente de otros, como la farmacoterapia, la fisioterapia o las terapias conductuales. Es más, lo ideal es que se puedan combinar, siempre y cuando el paciente lo pueda tolerar. Teniendo en cuenta que en este abordaje el cerebro es el principal protagonista, centrar la realidad virtual y la educación al paciente en sus intereses ayudará al éxito tanto del tratamiento en sí como de su bienestar, proporcionándole una vivencia agradable y positiva.

Agradecimientos: Grupo ECNI Brain Health Institute Guttmann Barcelona, Eloy Opisso y M. Dolors Soler.

**¿Necesitas mayor Autonomía en tu hogar?**

AHORA YA NO HAY QUE PENSAR EN CAMBIAR DE DOMICILIO

**Adom** by EBREKA & B) ADAPTACIONES  
ACCESIBILIDAD I ADAPTACIÓN I AUTONOMÍA  
[www.adom-autonomia.com](http://www.adom-autonomia.com)



#### Adom, soluciones integrales en Autonomía y Accesibilidad

**MÁS MOVILIDAD CON GRÚAS DE TECHO.** Comunica cama-silla-wc-ducha. Control por mando a distancia.



**BAÑO 100% ACCESSIBLE.** Ducha 100% plana, sin escalones ni mamparas, baños 100% transitables en silla de ruedas.



**MÁS CONTROL DEL HOGAR.** Teléfono, interfono, televisor, persianas, luces...Control sobre todo el hogar en un único mando a distancia.

**AUTONOMÍA PARA ENTRAR Y SALIR DE CASA.** Automatización de puertas, elevadores, en casa o en la escalera. Acceso también disponible por control remoto.

**¡INFÓRMATE!** Proyectos personalizados. Expertos en soluciones para cada discapacidad. Te asesoramos en la obtención de ayudas y subvenciones.

**PÍDENOS PRESUPUESTO SIN COMPROMISO**

[info@adom-autonomia.com](mailto:info@adom-autonomia.com)

**T. 93 285 04 37**