


# USO DE WEARABLES PARA LA MONITORIZACIÓN DE LA ACTIVIDAD DIARIA DE PERSONAS CON LESIÓN MEDULAR TRAUMÁTICA INCOMPLETA

TRABAJO FINAL DE MÁSTER  
MÁSTER UNIVERSITARIO EN NEUROREHABILITACIÓN  
EDICIÓN 2020-2021

ALBA MARTÍNEZ FERNÁNDEZ  
TUTOR: ELOY OPISSO  
7 de junio de 2021



## Resumen

**Introducción.** En España, se producen cada año alrededor de 1000 nuevas lesiones medulares que requieren hospitalización (Pérez et al., 2011). Las personas con una lesión medular presentan diferentes grados de afectación sensoriomotora que repercuten en la realización de las actividades de la vida diaria (Schneider et al., 2019), así como en una disminución de la actividad física (Popp et al., 2019; Schneider et al., 2018) y un mayor riesgo de caídas en aquellas personas que pueden caminar (Lemay et al., 2020). El programa rehabilitador está orientado a la recuperación funcional pero no existe suficiente evidencia que avale estos resultados debido a la falta de evaluaciones objetivas (Schneider et al., 2018).

**Objetivo.** Evaluar los beneficios del uso de la banda fitness Xiaomi MiBand 4 para la monitorización de la actividad diaria de personas con una lesión medular traumática incompleta hospitalizadas en el Institut Guttmann.

**Metodología.** Se planteó un estudio piloto en el que los participantes (n=4) utilizaron durante 7 días la banda fitness Xiaomi MiBand 4, siguiendo con su rutina diaria y programa de rehabilitación. Una vez procesados los datos, se utilizaron los programas estadísticos PSPP y Excel.

**Resultados.** Los cuatro participantes realizaron un promedio de 7500 pasos/día, identificándose diferencias en el nivel de actividad registrada entre semana y durante el fin de semana. La frecuencia cardíaca se mantuvo constante en toda la muestra a excepción de aquellas actividades más intensas en las que aumentaba sutilmente. Dormían una media de 8.5h entre semana y 9h en el fin de semana, cada uno de ellos con patrones de sueño diversos.

**Conclusión.** El wearable de Xiaomi resulta útil para la monitorización de la salud de la persona (frecuencia cardíaca y horas de sueño) pero al tratarse de un dispositivo comercial, este no está diseñado para las necesidades de las personas con lesión medular, registrando erróneamente el número de pasos o la actividad realizada.

**Palabras clave:** lesión medular traumática incompleta, wearables, actividad diaria, marcha, extremidad superior, frecuencia cardíaca, sueño.

# ÍNDICE

ANTECEDENTES .....	1
1. Descripción de la función motora .....	1
2. Médula espinal .....	8
2.1 Estructura interna de la médula espinal .....	9
2.2 Vascularización de la médula espinal .....	10
3. Lesión medular .....	11
3.1 Epidemiología .....	11
3.2 Fisiopatología de la lesión medular .....	12
4. Impacto de la lesión medular en las actividades de la vida diaria y la calidad de vida de las personas .....	14
4.1 Clasificación Internacional del Funcionamiento, de la Discapacidad y de la Salud .....	15
5. Sensores portátiles y monitorización de las actividades de la vida diaria .....	17
OBJETIVOS .....	19
Objetivo principal .....	19
Objetivos secundarios .....	19
METODOLOGÍA .....	20
RESULTADOS .....	22
DISCUSIÓN .....	26
CONCLUSIÓN .....	30
BIBLIOGRAFÍA .....	31
ANEXOS .....	34
1. <i>American Impairment Scale (AIS)</i> .....	34
2. Lesión medular incompleta – Síndromes medulares .....	35
3. Especificaciones Xiaomi MiBand 4 .....	37
4. ATTRACT - 3D kinematics for remote patient monitoring (RPM3D) .....	39
4.1 Hoja informativa .....	39
4.2 Consentimiento informado .....	44
4.3 Cuestionario sobre el consentimiento informado .....	46
5. Registro de actividad semanal .....	48
6. Cuestionarios finales .....	52
6.1 Cuestionario final participantes .....	52
6.2 Cuestionario final terapeutas .....	53

## ANTECEDENTES

### 1. Descripción de la función motora

El Sistema Nervioso (SN) se divide en Sistema Nervioso Central (SNC) y Sistema Nervioso Periférico (SNP). El SNC está formado por el encéfalo y la médula espinal, estructuras protegidas por el cráneo y la columna vertebral, respectivamente (Augustine, 2016; Bear et al., 2016; Diamond et al., 2019). La unión del encéfalo con la médula espinal se produce a través del foramen, agujero localizado en la base del cráneo (Diamond et al., 2019), punto de inicio de la médula espinal que abarca hasta la segunda vértebra lumbar. Gracias a esta organización, la médula espinal está en constante interacción con el encéfalo y el SNP, constituyéndose como la principal vía de información de estímulos sensoriales y motores (Bear et al., 2016; Redolar, 2015).

Este flujo de información se produce gracias a los nervios espinales y craneales que constituyen el SNP. Los primeros, se distribuyen a lo largo de todo el cuerpo, mientras que los segundos son específicos de la cabeza (Diamond et al., 2019; Redolar, 2015). A su vez, estos nervios están dotados de fibras aferentes y eferentes, las cuales, en función de la estructura que inervan, forman el Sistema Nervioso Somático (SNSo) o el Sistema Nervioso Autónomo (SNA). Por un lado, el SNSo otorga información sobre la piel y permite el control voluntario de las articulaciones y los músculos esqueléticos, mientras que el SNA, dividido en simpático y parasimpático, está implicado en la regulación interna del cuerpo a través de la inervación de la musculatura lisa y cardíaca, los órganos internos, los vasos sanguíneos y las glándulas (Augustine, 2016; Bear et al., 2016; Redolar, 2015).

Los sistemas sensoriales, gracias a la presencia de multitud de receptores distribuidos por el cuerpo, constituyen la puerta de entrada de la información que rodea al individuo, tanto aquella relacionada con los estímulos exteriores como de los órganos internos (Fitzpatrick & Mooney, 2016). Su función es transmitir las señales sensitivas recogidas por los receptores a la médula espinal, el tronco encefálico, el tálamo y la corteza cerebral con el fin de que sean interpretadas y se emita una respuesta (Fitzpatrick & Mooney, 2016; Kandel, 2001).

Gracias a toda la información recogida por los sistemas sensitivos, somos capaces de formar representaciones internas de nuestro cuerpo y del mundo exterior, hecho que nos permite guiar el movimiento en nuestro día a día. A continuación, se desarrollan tres de los sistemas sensitivos cruciales para la integración sensoriomotora, el sistema somatosensitivo, el sistema visual y el sistema vestibular.

El **sistema somatosensitivo** consta de cuatro modalidades: el tacto discriminador, la propiocepción, la nocicepción y la sensibilidad térmica, cada uno con receptores y vías de transmisión específicas. La información recogida se transmite a la médula y al encéfalo a través del sistema de la columna dorsal-lemnisco medial y el sistema anterolateral (Fitzpatrick & Mooney, 2016; Gardner & Kandel, 2001).

El primero, interviene en la percepción de los estímulos mecánicos y permite la estereognosis gracias a la discriminación fina y de las texturas, así como también participa en la propiocepción y cinestesia del propio cuerpo en el espacio (Warren et al., 2014). Esta información mecanosensitiva aferente es transmitida centralmente a gran velocidad (30-110m/s) gracias a

las fibras mielínicas que componen las cadenas de células nerviosas (Guyton & Hall, 2016b). Las neuronas de primer orden están localizadas en los ganglios de las raíces dorsales y se caracterizan por ascender homolateralmente por los cordones posteriores de la médula espinal hasta la parte inferior del bulbo raquídeo. Las fibras que transmiten información desde las extremidades inferiores se ubican más mediales y llegan hasta el núcleo grácil mientras que aquellas que informan de las extremidades superiores, tronco y cuello se ubican en un haz más lateral, terminando en el núcleo cuneiforme (Fitzpatrick & Mooney, 2016).

Las neuronas de segundo orden se encuentran en los núcleos del tronco encefálico y son las encargadas de enviar sus axones a la porción somatosensitiva del tálamo. Los axones que salen de los núcleos grácil y cuneiforme cruzan la línea media y forman el tracto lemnisco medial que hará sinapsis con las neuronas talámicas localizadas en el núcleo ventral posterolateral. Por último, las neuronas de tercer orden situadas en el tálamo, proyectan sus axones hacia la corteza somatosensitiva primaria o SI y a la corteza somatosensitiva secundaria o SII, lugar donde se procesa toda la información (Fitzpatrick & Mooney, 2016).

Por otro lado, el sistema anterolateral destaca por su papel en la regulación refleja del control motor y la propiocepción, aunque también transmite gran variedad de modalidades sensitivas como dolor, calor, frío y sensaciones táctiles groseras (Fitzpatrick & Mooney, 2016; Guyton & Hall, 2016b). Las fibras mielínicas que componen esta vía son de menor tamaño respecto al sistema de la columna dorsal-lemnisco medial, hecho que influye directamente en la velocidad de transmisión de los estímulos sensoriales (hasta 40m/s) (Guyton & Hall, 2016b). Una vez la señal sensitiva entra a la médula espinal por la raíz dorsal, las fibras de las aferencias propioceptivas se bifurcan en ramas ascendentes y descendentes, así como también se ramifican para hacer sinapsis con las neuronas propias del asta dorsal y del asta ventral. Esta inervación es crucial para la realización de los reflejos segmentarios, como por ejemplo el reflejo miotático (Fitzpatrick & Mooney, 2016; Guyton & Hall, 2016b).

Las aferencias propioceptivas de primer orden provenientes de las extremidades inferiores sinaptan con las neuronas del núcleo de Clarke, situado en la cara medial del hasta dorsal de la médula espinal lumbar. Los axones de estas neuronas de segundo orden, a través del tracto espinocerebeloso dorsal, viajan hasta el cerebelo, estructura encargada de regular los movimientos voluntarios. Además, en este recorrido ascendente las neuronas de tercer orden decusan y se unen al lemnisco medial en su recorrido hasta el núcleo ventral posterolateral del tálamo. En contraposición, las aferencias propioceptivas de primer orden provenientes de las extremidades superiores realizan un recorrido similar al de los mecanorreceptores cutáneos descritos anteriormente (Fitzpatrick & Mooney, 2016).

Otro de los sistemas sensoriales que ofrece información del exterior y permite dirigir los movimientos corporales es el **sistema visual**. El procesamiento de las imágenes se inicia en el ojo, donde las ondas de luz son dirigidas hacia la retina, órgano receptor periférico. Estos impulsos resultantes son transmitidos a lo largo de las vías visuales hasta la corteza visual situada en la superficie medial del lóbulo occipital. La retina está constituida por tres capas celulares: las células fotorreceptoras (bastones y conos), las células bipolares y las células ganglionares. Los axones de estas últimas forman el nervio óptico que sale a través de la superficie posterior del globo ocular para penetrar en la cavidad craneal a través del canal óptico. Las fibras mediales del nervio óptico se cruzan en el quiasma óptico para unirse al tracto óptico contralateral

mientras que las fibras laterales continúan a través del quiasma sin cruzarse para entrar en el tracto ipsilateral (Diamond et al., 2019; Fitzpatrick & Mooney, 2016).

De forma muy similar al sistema somático, el sistema visual consta de varias vías que procesan la información paralelamente. Por un lado, la vía visual primaria comienza en la retina, sigue por el núcleo geniculado dorsolateral del tálamo y llega hasta la corteza visual primaria, lugar donde se produce la percepción consciente de la escena visual. Asimismo, un número de fibras salen del cuerpo geniculado lateral para inervar áreas visuales en los lóbulos parietal y temporal. Las áreas del lóbulo temporal, a través de la vía ventral, participan en el reconocimiento de objetos, mientras que la vía dorsal que finaliza en el lóbulo parietal está vinculada con el movimiento y la localización del mismo (Diamond et al., 2019; Fitzpatrick & Mooney, 2016; Wurtz & Kandel, 2001).

Además, el ser humano también tiene la capacidad de redirigir la mirada a un objeto de interés gracias a los músculos extraoculares, los cuales permiten realizar movimientos sacádicos, de seguimiento y de convergencia (May & Corbett, 2014). Esta musculatura está inervada por neuronas motoras inferiores que constituyen tres pares craneales: el nervio abducens (VI par craneal), el nervio troclear (IV par craneal) y el nervio oculomotor (III par craneal). El nervio abducens sale del tronco del encéfalo desde la unión bulboprotuberencial e inerva el músculo recto lateral, responsable de la abducción. El IV par craneal sale del tronco del encéfalo desde la porción caudal del mesencéfalo e inerva el músculo oblicuo superior contralateral, encargado de los movimientos verticales y torsionales. Por último, el nervio oculomotor (III par craneal) sale del mesencéfalo rostral e inerva el resto de los músculos extraoculares, así como los músculos elevadores del párpado superior. Además, también consta de axones parasimpáticos preganglionares responsables de la constricción pupilar (Fitzpatrick & Mooney, 2016).

Esta información visual, junto con la obtenida por los receptores somatosensitivos y visceromotores, así como aquella información motora procedente del cerebelo y del córtex cerebral, es integrada por el sistema vestibular con el fin de controlar la postura, los movimientos del cuerpo y de los ojos, la posición cefálica y la orientación espacial en relación con la gravedad (Dickman, 2014; Fitzpatrick & Mooney, 2016). Asimismo, a pesar de la cantidad de información que tiene que procesar, el sistema vestibular emite una señal rápida para coordinar estas respuestas motoras y garantizar el funcionamiento diario y la supervivencia (Dickman, 2014).

El **sistema vestibular** está compuesto por cinco componentes. En primer lugar, el aparato receptor periférico que hace referencia al oído interno. Está compuesto por un laberinto óseo formado por canales semicirculares, así como por un laberinto membranoso constituido por conductos semicirculares. Las células receptoras sensitivas del sistema vestibular se localizan en los órganos con otolitos y en los conductos semicirculares del oído interno. Estos receptores constan de una serie de cilios que, en función de su inclinación, liberan neurotransmisores en el espacio sináptico de los terminales nerviosos aferentes con el fin de otorgar información relacionada con el movimiento y la posición de la cabeza (Diamond et al., 2019; Dickman, 2014; Fitzpatrick & Mooney, 2016). En segundo lugar, destacan los núcleos vestibulares centrales (superior, medial, lateral e inferior) que comprenden un conjunto de neuronas del tronco del encéfalo que inervan los músculos extraoculares, cervicales y posturales, hecho que se traduce un control de la estabilización de la mirada, la orientación cefálica y la postura. Cabe decir que

las neuronas de estos cuatro núcleos vestibulares se proyectan bilateralmente al tálamo, especialmente al contralateral, así como también reciben aferencias visuales que favorecen la integración multisensorial (Dickman, 2014; Fitzpatrick & Mooney, 2016).

El tercer componente para desarrollar es la red vestibulo-ocular que parte de los núcleos vestibulares anteriormente descritos e interviene en el control de los movimientos de los ojos. Además, esta red es importante ya que a través de movimientos oculares compensadores permite mantener la mirada cuando la cabeza está en movimiento. Por otro lado, el sistema vestibular también influye en el tono muscular y, gracias a la red vestibuloespinal lateral y medial, coordina los movimientos de la cabeza, la musculatura axial y los reflejos posturales. El quinto y último componente es la red vestibulotalamocortical, responsable de la percepción consciente del movimiento y de la orientación espacial como resultado de la convergencia de información procedente de los sistemas vestibular, visual y somatosensitivo a nivel talamocortical (Diamond et al., 2019; Dickman, 2014).

La complejidad de las vías nerviosas implicadas en el sistema vestibular refleja la influencia de este sistema en todo el encéfalo, sin existir un córtex vestibular primario específico. No obstante, se ha descrito que el área 2v y 3a del córtex somatosensitivo primario, el área 7 del córtex parietal, las áreas retroinsular y de la ínsula granular del surco lateral y el área 6 del córtex prefrontal y el giro frontal superior responden a la estimulación vestibular (Dickman, 2014).

Toda esta información sensorial percibida del mundo exterior es integrada a todos los niveles del sistema nervioso con el fin de construir una serie de representaciones que sirvan como marco para los sistemas motores a la hora de planificar, coordinar y ejecutar los programas motores responsables de los movimientos voluntarios. Según Kandel y colaboradores (2001), los **sistemas motores** están organizados en una jerarquía funcional, en los que cada uno de estos niveles se encarga de unas tareas específicas y diferentes al resto. El nivel superior, está representado por la corteza frontal dorsolateral. Es el más abstracto de todos ya que responde a la finalidad del movimiento. El siguiente nivel se ocupa de la formación del plan motor a partir de la información sensitiva obtenida de la interacción con el entorno y la posición del propio cuerpo en el espacio. Las áreas implicadas son las parietales posteriores y premotoras. Por último, el nivel jerárquico inferior consiste en los circuitos motores de la médula espinal, destinado a coordinar los detalles espaciotemporales de las contracciones musculares necesarias para ejecutar el movimiento planeado (Ghez & Krakauer, 2001).

En contraposición, autores como Haines (2014) y Purves et al. (2016), distinguen cuatro subsistemas responsables del control de los movimientos voluntarios e involuntarios necesarios para llevar a cabo las actividades de la vida diaria. Se distinguen: los circuitos locales de la médula espinal y del tronco del encéfalo, las vías descendentes de las neuronas motoras superiores que controlan estos circuitos, los ganglios basales y el cerebelo. Tomando como referencia esta clasificación, a continuación, se detallan los procesos que tienen lugar en cada uno de estos subsistemas.

En primer lugar, el **circuito local** se produce en el interior de la sustancia gris de la médula espinal y en los núcleos motores de los nervios craneales del tronco del encéfalo. Estas estructuras están formadas por neuronas motoras inferiores y por neuronas de circuito local. Las primeras, establecen una conexión directa entre el sistema nervioso y los músculos esqueléticos a través de unidades motoras mientras que las segundas, reciben aferencias

sensitivas que permiten la coordinación de múltiples conductas rítmicas y estereotipadas, así como también median en los reflejos sensoriomotores como, por ejemplo, el reflejo de estiramiento. Este, consiste en un circuito monosináptico que ayuda a regular la fuerza y el tono muscular a la hora de realizar una actividad. Las fibras aferentes de los husos musculares y de los órganos tendinosos de Golgi participan directa o indirectamente en la actividad de las motoneuronas del asta anterior. El estiramiento del huso muscular, concretamente el de tipo Ia, es capaz de aumentar de la actividad del músculo agonista a partir de conexiones excitadoras monosinápticas con motoneuronas alfa. Al mismo tiempo, estas fibras la activan interneuronas Ia que inhiben motoneuronas que inervan los músculos antagonistas, regulando la tensión de las fibras intrafusales del huso muscular y produciendo una inhibición recíproca. Otros circuitos reflejos proporcionan un control por retroalimentación de la tensión muscular y median funciones esenciales como la retirada rápida de las extremidades frente a estímulos dolorosos (Mihailoff & Haines, 2014; White & Hall, 2016).

Asimismo, los movimientos rítmicos complejos como la locomoción se producen gracias a los generadores centrales de patrones (CPG) que coordinan los movimientos en el espacio y secuencian la activación muscular necesaria para llevar a cabo estas conductas rítmicas y estereotipadas. Un CPG es una red neuronal capaz de excitarse espontáneamente y generar un patrón rítmico de actividad motora sin necesidad de retroalimentación aferente procedente de receptores periféricos. Sin embargo, en el caso de la locomoción, estos circuitos locales pueden recibir aferencias superiores que aportan información a la hora de iniciar la marcha o la velocidad del movimiento (Pearson & Gordon, 2001; White & Hall, 2016).

El movimiento de una sola extremidad puede resumirse en un ciclo de dos fases: una fase de posicionamiento del pie, durante la cual la extremidad se extiende y se coloca en contacto con el suelo para impulsarse hacia adelante y una fase de balanceo en la que la extremidad se flexiona para levantarla del suelo y llevarla hacia adelante para comenzar nuevamente con la fase de posición (Pearson & Gordon, 2001). No obstante, este CPG es único para una extremidad inferior por lo que se deduce que para la locomoción se necesitan varios CPG responsables de la flexión y extensión alternantes de las extremidades inferiores, así como aquellos encargados del balanceo de los brazos. Cada uno de estos CPG actúan en consonancia con el resto con el fin de garantizar una óptima ejecución del patrón de locomoción (Pearson & Gordon, 2001; White & Hall, 2016).

Multitud de estudios en animales han probado que, tras una sección medular a nivel torácico, se observa un mantenimiento de los movimientos coordinados de locomoción de las extremidades posteriores si el animal es sostenido y colocado en una cinta rodante. En el caso de los humanos, a pesar de evidenciarse algunos movimientos de locomoción tras el daño de vías descendentes, estos CPG son menos eficaces. Existen varias hipótesis que tratan de justificar este hecho. Por un lado, un aumento de la dependencia de los circuitos locales sobre las vías descendentes de las motoneuronas superiores, así como también mayores requerimientos de control postural a la hora de una marcha bípeda (White & Hall, 2016).

Siguiendo con el **segundo subsistema**, la actividad de las motoneuronas inferiores de la médula espinal no depende únicamente de la retroalimentación sensitiva, sino que también depende en gran medida de las neuronas motoras superiores. Sus cuerpos celulares se ubican en el tronco del encéfalo, concretamente en los núcleos vestibulares, el colículo superior y la



formación reticular, así como también se encuentran en la corteza cerebral. Sus axones descienden para hacer sinapsis con neuronas de circuito local y, puntualmente, con motoneuronas inferiores de forma directa, dando como resultado la contracción del músculo esquelético. En función del origen de las motoneuronas superiores, se distinguen diferentes vías y, consecuentemente, funciones. Por un lado, aquellas que nacen de la corteza son esenciales para el inicio y la secuenciación compleja de los movimientos voluntarios. Las proyecciones descendentes desde el lóbulo frontal, concretamente de la corteza motora primaria y la corteza premotora, áreas 4 y 6 de Brodmann respectivamente, son esenciales para planificar, iniciar y dirigir las secuencias de los movimientos voluntarios que involucran la cabeza, el tronco y las extremidades. Además, el lóbulo frontal también consta de áreas corticales que desempeñan un papel similar en el control de los movimientos oculares. No obstante, aquellas motoneuronas superiores que se originan en el tronco del encéfalo son responsables de la regulación del tono muscular y la orientación de los ojos, la cabeza y el cuerpo en relación con la información vestibular, somática, auditiva y sensitiva visual (White & Hall, 2016).

El **tracto corticoespinal** es la principal vía descendente originada en la corteza que actúa sobre motoneuronas e interneuronas sensoriales de la médula espinal. Participa en el control de los movimientos de las extremidades superiores e inferiores, así como en la modificación de los impulsos sensoriales para regular la información ascendente. Las neuronas motoras superiores parten de la corteza motora primaria del lóbulo frontal y descienden para formar parte de la gran corona radiada que se estrecha justo al lado del diencefalo constituyendo la cápsula interna. Continuando su descenso, y aportando fibras colaterales y terminales a su paso, el tracto corticoespinal atraviesa la base del mesencéfalo y constituye los dos tercios mediales de los pedúnculos cerebrales. El tracto alcanza la parte anterior de la protuberancia y se disgrega en haces en forma de racimos de células pontinas. Los haces se vuelven a unir caudalmente a medida que se aproximan al bulbo, aportando fibras colaterales y terminales y formando las pirámides sobre la cara anterior del bulbo raquídeo (Diamond et al., 2019).

A nivel de la unión bulboespinal, la mayor parte del tracto (90%) de cada lado cruza la línea media hacia el lado contralateral e ingresa en los cordones laterales de la médula espinal, donde forman el tracto corticoespinal lateral. Este se constituye como vía directa desde la corteza hasta la médula espinal y termina sobre todo en las porciones laterales del asta ventral y la sustancia gris intermedia, con algunos axones que hacen sinapsis directamente con las neuronas motoras que gobiernan las extremidades distales. Por el contrario, las fibras que no decusan (10%) continúan caudalmente en el funículo anterior como tracto corticoespinal anterior, vía que se origina en primer término en regiones de corteza motora, área que corresponde a los músculos axiales y proximales de las extremidades (Diamond et al., 2019; White & Hall, 2016).

El **tercer y cuarto subsistemas**, es decir, los ganglios basales y el cerebelo son circuitos complejos con vías eferentes que no tienen acceso directo a las neuronas de circuito local ni a las motoneuronas inferiores, pero influyen en el movimiento a través de la regulación de la actividad de las neuronas motoras superiores (White & Hall, 2016). En primer lugar, los ganglios basales están ubicados en el interior del encéfalo anterior. Algunas de sus funciones principales son la planificación y el control de los patrones complejos de movimiento muscular, así como también la eliminación de movimientos no deseados y la regulación de la intensidad, dirección y orden de la acción motora (Guyton & Hall, 2016a; White & Hall, 2016).

Los **núcleos basales** se dividen en dorsales y ventrales, localización que les otorga una función específica. Los dorsales son el caudado y el putamen (que juntos forman el neostriado) y el globo pálido (que constituye el paleostriado). A ellos se les asocia la sustancia nigra, el núcleo subtalámico y la formación reticular pontina parabraquial, relevantes para la explicación de la función motora por parte de los ganglios basales (Ma, 2014). Estos componentes forman un asa subcortical que relaciona la mayor parte de las áreas de la corteza con las neuronas motoras superiores en la corteza motora primaria, la corteza premotora y el tronco del encéfalo (White & Hall, 2016). Esta relación se produce a través de las vías que pasan por cada uno de los núcleos basales, estableciéndose unos circuitos paralelos que comparten algunas características. La vía directa facilita el flujo de información hacia el tálamo mientras que la vía indirecta lo inhibe, hecho que favorece un equilibrio y modulación de la intensidad de esta inhibición en los núcleos diana (Ma, 2014).

Este flujo de información que pasa por los núcleos basales está separado en muchos circuitos paralelos distintos. Estos circuitos se originan en el córtex cerebral, pasan por diferentes regiones de cada componente de los núcleos basales, modulan zonas diferentes del tálamo y regresan a regiones corticales funcionalmente distintas (Ma, 2014). Concretamente, el núcleo caudado recibe proyecciones corticales fundamentalmente de las cortezas de asociación polimodales y de las áreas motoras en el lóbulo frontal que controlan los movimientos oculares. En contraposición, el putamen recibe aferencias desde las cortezas somatosensitivas primaria y secundaria en el lóbulo parietal, las cortezas visuales de orden superior en los lóbulos occipital y temporal, las cortezas premotora y motora en el lóbulo frontal y las áreas de asociación auditiva en el lóbulo temporal (White & Hall, 2016).

Los circuitos internos del sistema de los ganglios basales modulan la amplificación de las señales que se transmiten a través del asa. Las neuronas eferentes de los ganglios basales influyen en las neuronas motoras secundarias de la corteza al activar el flujo de información a través de los relevos en los núcleos ventrales del tálamo. Por ejemplo, las neuronas motoras secundarias del colículo superior que inician los movimientos oculares sacádicos están controladas por proyecciones monosinápticas desde la porción reticular de la sustancia nigra (White & Hall, 2016).

El cuarto subsistema es el **cerebelo**, localizado sobre la superficie dorsal de la protuberancia. Consta de dos componentes principales: una corteza cerebelosa laminada y un agrupamiento subcortical de células denominadas núcleos cerebelosos profundos. Las vías aferentes proyectan a las dos estructuras mientras que las neuronas de los núcleos cerebelosos profundos representan la fuente principal de eferencias desde el cerebelo (White & Hall, 2016).

El papel fundamental del cerebelo es la coordinación temporal de las actividades motoras y el paso suave y rápido desde un movimiento muscular al siguiente. Además, a través de varias vías eferentes, es capaz de modificar los patrones de actividad de las motoneuronas secundarias, regulando la intensidad de la contracción muscular y controlando las interacciones instantáneas que son necesarias entre los grupos musculares agonistas y antagonistas. Es más, gracias al constante flujo de aferencias sensitivas, el cerebelo es capaz de adaptarse a las variaciones de posición, velocidad de movimiento y fuerzas que actúan sobre ella después de contrastar la información con los movimientos pretendidos del sistema motor. Si la comparación entre ambos no resulta satisfactoria, entonces devuelve unas señales instantáneas de corrección hacia el

sistema motor para aumentar o disminuir los niveles de activación de cada músculo específico. No obstante, si un movimiento no sucede exactamente como se pretende, el circuito cerebeloso aprende a de sus errores (Guyton & Hall, 2016a). En resumen, la función principal del cerebelo es detectar la diferencia o error motor entre el movimiento que se intentó y el movimiento real, con el fin de reducir el error y generar un aprendizaje motor (White & Hall, 2016).

En conclusión, las personas somos seres ocupacionales que basamos nuestro día a día en el hacer. Las actividades que llevamos a cabo nos definen y estructuran nuestro tiempo, tanto diario como evolutivo. Asimismo, existen una serie de actividades, las actividades de la vida diaria, que garantizan nuestra supervivencia. Algunos ejemplos son la alimentación, la higiene, la deambulación o la micción y la defecación. Para llevarlas a cabo, es preciso que se produzca una interacción entre las características de la persona, entendidas como el conjunto de estructuras y funciones corporales necesarias para desempeñarlas, así como las destrezas y patrones de ejecución necesarias para dar respuesta a las demandas de la actividad y a los factores contextuales. No obstante, el sistema nervioso tiene un rol muy importante a la hora de integrar las aferencias sensitivas y generar una respuesta motora.

Cuando la persona quiere coger un vaso de agua, primero lo localiza con la mirada. Gracias al sistema visual, se generará una imagen que proporcionará información sobre el objeto y el entorno. El sistema vestibular participará a la hora de orientar la cabeza hacia el vaso y mantener el equilibrio durante la acción. Una vez procesada la información, se enviará una señal desde el área motora primaria y el área premotora a la motoneurona secundaria que, a su vez, hará sinapsis con la motoneurona inferior vinculada a una serie de músculos esqueléticos que permitirán la acción motora. El contacto con el vaso proporcionará una información táctil que permitirá los ajustes necesarios para una correcta ejecución. Este constante flujo de información también está mediado por reflejos sensoriomotores, los ganglios basales y el cerebelo entre otras estructuras y procesos que garantizan un desempeño ocupacional óptimo, dando respuesta a todas las demandas de la actividad y del entorno.

## 2. Médula espinal

La médula espinal constituye los dos tercios caudales del Sistema Nervioso Central (SNC) y se encuentra protegida por el conducto vertebral de la columna vertebral. Comienza en el agujero occipital del cráneo y termina, en el adulto, a nivel del borde inferior de la primera o la segunda vértebra lumbar. Se caracteriza por ser una estructura segmentaria formada por 31 pares de nervios espinales distribuidos a lo largo de la médula. De rostral a caudal consta de 8 segmentos cervicales (C1-C8), 12 torácicos (T1-T12), 5 lumbares (L1-L5), 5 sacros (S1-S5) y 1 segmento cóccigeo (Co1) (Crossman & Neary, 2020; Diamond et al., 2019; Snell, 2001).

La médula tiene forma cilíndrica pero su diámetro varía considerablemente, engrosándose en la región cervical (intumescencia cervical C4-T1) y en la región lumbar (intumescencia lumbar L1-S3). Esto es debido al aumento de neuronas y fibras asociadas que constituyen el plexo braquial y el lumbosacro, encargados de inervar los miembros superiores e inferiores, respectivamente. Caudalmente a la intumescencia lumbar, la médula espinal se afila formando el cono medular y, progresivamente, el filum terminal que se fija en la parte posterior del cóccix (Crossman & Neary, 2020; Diamond et al., 2019; Snell, 2001).

Treinta y un pares de nervios bilaterales emergen a lo largo de toda la médula espinal, cada uno de ellos asociado a un segmento medular. Los nervios espinales se originan como dos series lineales de fascículos nerviosos que se unen para formar las raíces anteriores o motoras y las raíces nerviosas posteriores o sensitivas, estas últimas con su correspondiente ganglio. Una vez pasan por su agujero intervertebral, se unen para formar el nervio espinal el cual recibe aferencias de los receptores sensitivos del tronco y de las extremidades, así como también aporta inervación autónoma a la mayoría de las vísceras y musculatura para controlar los movimientos corporales (Crossman & Neary, 2020; Snell, 2001).

Tal y como se ha comentado anteriormente, la médula espinal se ubica dentro del conducto vertebral y está revestida por tres membranas fibrosas concéntricas, las meninges. La piamadre es la capa más interna. Es una membrana vascular delicada que está íntimamente adherida a la superficie de la médula y las raíces nerviosas. La aracnoides es una membrana translúcida situada entre la piamadre y la duramadre. El espacio resultante de la piamadre y la aracnoides se denomina espacio subaracnoideo, lugar que contiene el líquido cefalorraquídeo producido en el sistema ventricular encefálico. Por último, la cubierta más externa de la médula es la duramadre, una membrana fibrosa dura que envuelve la médula de forma laxa. El espacio que hay entre la duramadre y la aracnoides se llama espacio subdural y, el correspondiente a la duramadre respecto a la pared ósea del conducto vertebral, espacio epidural (Crossman & Neary, 2020; Diamond et al., 2019).

### 2.1 Estructura interna de la médula espinal

El aspecto transversal de la médula espinal muestra en el centro el conducto central, rodeado por la sustancia gris. Esta está formada por los cuerpos de las células nerviosas, sus dendritas y sus contactos sinápticos. Alrededor de esta y constituyendo la parte más externa de la médula, se encuentra la sustancia blanca que contiene fibras nerviosas ascendentes y descendentes. En función del nivel medular, la cantidad de estas sustancias varía. Por ejemplo, los niveles más altos contienen mayor cantidad de sustancia blanca mientras que en los tractos descendentes, hay mayor volumen de sustancia gris (Crossman & Neary, 2020; Snell, 2001).

La sustancia gris de la médula espinal se dispone en columnas o astas anteriores y posteriores, unidas por una delgada comisura gris que contiene el conducto central. Esta distribución le otorga una forma de H característica (Crossman & Neary, 2020; Diamond et al., 2019; Snell, 2001), la cual puede dividirse en diez zonas conocidas como láminas de Rexed. Estas, están distribuidas secuencialmente de posterior a anterior y se asocian a agrupaciones celulares que determinan tipos funcionales (Crossman & Neary, 2020).

El asta posterior está formada por diferentes grupos de células nerviosas que proporcionan información relacionada con la sensibilidad. Por un lado, las neuronas de Golgi tipo II reciben fibras aferentes relacionadas con el dolor, la temperatura y el tacto, así como también recibe aferencias de fibras que descienden desde niveles supraespinales. El núcleo propio recibe fibras del cordón blanco posterior que se asocian con los sentidos de posición y movimiento (propiocepción), la discriminación de dos puntos y la vibración. El núcleo dorsal está vinculado con terminaciones propioceptivas (husos neuromusculares y husos tendinosos) y el núcleo aferente visceral, con la recepción de información aferente visceral (Snell, 2001).

En contraposición, el asta anterior contiene los cuerpos celulares de las neuronas motoras alfa y gamma que salen a través de las raíces nerviosas anteriores e inervan los músculos esqueléticos y los husos musculares (Crossman & Neary, 2020). Consecuentemente, a mayor cantidad de sustancia gris, mayor cantidad de músculo inervado a ese nivel. Así, su tamaño es máximo en las intumescencias cervical y lumbar de donde nacen los nervios espinales encargados de inervar los músculos de las extremidades superiores e inferiores, respectivamente. Además, los segmentos torácicos y lumbares superiores poseen una pequeña asta lateral o intermediolateral que contiene los cuerpos celulares de las neuronas simpáticas preganglionares. Respecto a las fibras parasimpáticas preganglionares, estas nacen de los segmentos sacros (Crossman & Neary, 2020; Snell, 2001).

La sustancia gris está completamente rodeada por sustancia blanca, una mezcla de fibras nerviosas, neuroglia y vasos sanguíneos. Está dividida en tres grandes cordones: posterior, lateral y anterior, separados por las astas posteriores y anteriores (Crossman & Neary, 2020; Diamond et al., 2019; Snell, 2001). El cordón anterior se encuentra entre la línea media y el punto de salida de las raíces nerviosas anteriores; el cordón lateral se halla entre la salida de las raíces nerviosas anteriores y la entrada de las raíces nerviosas posteriores; el cordón posterior se ubica entre la entrada de las raíces nerviosas posteriores y la línea media (Snell, 2001).

Las fibras nerviosas que comparten el mismo origen, terminación y función se organizan en tractos o fascículos. Algunas fibras interconectan segmentos medulares adyacentes o distantes para integrar sus funciones mientras que otras discurren entre la médula y el encéfalo, constituyendo los tractos ascendentes y descendentes de la médula espinal (Crossman & Neary, 2020).

Los tractos ascendentes, ubicados en el asta gris posterior, conducen información aferente que puede llegar o no a la conciencia. Dicha información puede ser exteroceptiva, como el dolor, la temperatura y el tacto o información propioceptiva, proveniente de los músculos y articulaciones del cuerpo (Snell, 2001). Los tractos ascendentes principales son el tracto espinotalámico lateral y anterior y los tractos espinocerebelosos posterior, cuneocerebeloso anterior y rostral (Diamond et al., 2019).

Los tractos descendentes, localizados en el asta gris anterior, conducen información eferente relacionada con el movimiento y el control postural. El principal tracto descendente es el corticoespinal, vinculado con los movimientos voluntarios, especialmente aquellos de las partes distales de las extremidades. El tracto reticuloespinal puede facilitar o inhibir el movimiento voluntario o la actividad refleja. El tracto tectoespinal está vinculado con los movimientos posturales reflejos en respuesta a estímulos visuales. El tracto rubroespinal se encarga de facilitar la actividad de los músculos flexores e inhibe la actividad de los músculos extensores o antigravitacionales. En contraposición, el tracto vestibuloespinal facilita la actividad de los músculos extensores, inhibiendo la actividad de los músculos flexores. Este tracto se relaciona con la actividad postural y el equilibrio (Snell, 2001).

## 2.2 Vascularización de la médula espinal

La médula espinal se encuentra ricamente vascularizada por una importante red de arterias y parcialmente drenada por un extenso plexo venoso asociado a la columna vertebral. La

superficie anterior de la médula espinal está vascularizada por la arteria espinal anterior y sus ramas. Se considera la arteria más larga del cuerpo y está constituida rostralmente por dos arterias que nacen en la parte intracraneal de las arterias vertebrales. Esas parejas de arterias espinales descienden para unirse en el nivel vertebral C3 y formar así una única arteria espinal anterior. Conforme esta vena desciende dentro de la cisura medial anterior, se ve reforzada por una serie de arterias radicales las cuales penetran en la sustancia gris a través de varios surcos. Respecto a la vascularización posterior, existe una pareja de arterias espinales que también se originan a partir de las arterias vertebrales, descendiendo cerca de las zonas de entrada de la raíz dorsal. A su vez, reciben ramas posteriores de las arterias radicales mencionadas anteriormente (Diamond et al., 2019).

El plexo venoso, localizado en el espacio epidural, recorre toda la extensión de la médula espinal. Está formado por una única vena espinal anterior y una pareja de venas espinales posteriores interconectadas entre sí. Estas venas están drenadas por venas radicales anteriores y posteriores. Paralelamente, las venas intervertebrales, localizadas entre cada pareja de vértebras, drenan en las venas segmentales (Diamond et al., 2019).

### 3. Lesión medular

La lesión medular se define como aquel proceso patológico en el que se produce una interrupción o alteración de las vías nerviosas, de forma parcial o completa, que comunican el cerebro con el resto del organismo. La etiología de las lesiones medulares puede ser de origen congénito (espina bífida), traumático (accidente de tráfico, accidente laboral o violencia) o por causas médicas (tumoral, infecciosa, vascular). Esta lesión produce una alteración de la función motora, sensitiva y/o autónoma por debajo de la zona afectada, así como también aumenta el riesgo de sufrir complicaciones tales como úlceras por presión, espasticidad o procesos renales (Bickenbach, Biering-Sorensen, et al., 2013; Institut Guttmann, 2019; Montoto Marqués et al., 2008; Pérez et al., 2011).

#### 3.1 Epidemiología

Actualmente, no existe un valor exacto de cuántas personas en el mundo viven con una lesión medular, pero se estima que la incidencia mundial es de 40 a 80 nuevos casos por millón de habitantes al año, independientemente de su causa. Esto significa que cada año, entre 250.000 y 500.000 personas sufren una lesión medular (Bickenbach, Boldt, et al., 2013). Concretamente en España, se producen cada año alrededor de 1.000 nuevas lesiones medulares que requieren hospitalización (Pérez et al., 2011). La mayoría de estos casos son traumáticos aunque estudios recientes muestran un incremento en la edad de inicio y un aumento gradual en la proporción de casos de lesiones medulares no traumáticas, directamente relacionadas con el envejecimiento de la población mundial (Bickenbach, Boldt, et al., 2013).

No obstante, a pesar de estas variaciones, la evolución muestra una reducción de la tasa de incidencia del año 2000 al 2008 del 24,1% en hombres y del 46,2% en mujeres que han sufrido un accidente de tráfico (Pérez et al., 2011) aunque aumenta el número de casos para conductores de motocicletas, peatones y ciclistas (Bickenbach, Boldt, et al., 2013). Del mismo modo, en el caso de las lesiones medulares no traumáticas, se observa un descenso del 14,4% en hombres mientras que aumenta un 10,3% en mujeres (Pérez et al., 2011).

Existen diferencias significativas respecto al sexo de las personas que sufren una lesión medular traumática, observándose una mayor incidencia en hombres que en mujeres (2:1). Esta diferencia no se presenta en población pediátrica, donde la relación es más equitativa. Este hecho refuerza la idea de la influencia que tienen los roles de género sobre el comportamiento y los hábitos de las personas. Por ejemplo, el consumo de alcohol, la actitud durante la conducción y la participación en deportes de riesgo aumentan las probabilidades de sufrir una lesión medular (Bickenbach, Boldt, et al., 2013).

Respecto a la edad, se identifican dos franjas de edad con mayor incidencia. Por un lado, adultos jóvenes, hombres entre 20-29 años y mujeres entre 15-19 años. Por otro lado, personas mayores, hombres de 70 años o más y mujeres mayores de 60 años (Bickenbach, Boldt, et al., 2013). Esta segunda franja de edad es un patrón recientemente observado que se relaciona con el envejecimiento de la población (Bickenbach, Boldt, et al., 2013; Pérez et al., 2011). El aumento de la esperanza de vida incrementa el riesgo de sufrir una lesión medular debido a que son personas que se encuentran en una situación de salud frágil. Asimismo, el avance de la tecnología, de la ciencia y de la medicina contribuye a aumentar la supervivencia de las personas con lesión medular (Pérez et al., 2011).

Sin embargo, el nivel de la lesión y su gravedad determinan el riesgo de mortalidad de las personas con lesión medular. Las personas con tetraplejía mueren antes que aquellas con paraplejía, del mismo modo que aquellos con lesiones completas tienen mayor riesgo a morir en comparación con lesiones incompletas (Bickenbach, Boldt, et al., 2013). Diversos estudios evidencian que las personas con una lesión medular son más propensas a morir y tener complicaciones de salud respecto a las personas sin lesión. El primer año después de la lesión es el de mayor riesgo aunque los datos han indicado que las personas con lesión medular son de 2 a 5 veces más proclives a morir prematuramente que las personas sin lesión (Bickenbach, Boldt, et al., 2013). Entre los años 2000 y 2008 se produjeron 599 defunciones hospitalarias en personas ingresadas por lesión medular en España, la mayoría de las cuales fueron hombres (74,5%) y por mecanismos distintos de los accidentes de tráfico (69,6%) (Pérez et al., 2011).

La *National SCI Database*, a partir del seguimiento de personas con lesión medular durante 45 años después de que esta se produjera, son capaces de concluir que las causas de muerte que parecen tener mayor impacto en la reducción de la esperanza de vida de esta población son la neumonía y la septicemia. No se han registrado cambios significativos en la tasa de mortalidad por septicemia y por enfermedades respiratorias en los últimos 45 años. En contraposición, las tasas de mortalidad están disminuyendo para el cáncer, enfermedades cardíacas, accidentes cerebrovasculares, enfermedades arteriales, émbolos pulmonares, enfermedades urinarias, enfermedades digestivas y suicidio (NSCISC, 2020).

### 3.2 Fisiopatología de la lesión medular

La lesión medular traumática puede presentarse tras la combinación de distintos mecanismos que conllevan a la lesión tisular como consecuencia de la magnitud de la fuerza, la velocidad a la que se aplica y el propio vector de la fuerza. Dicha lesión se produce cuando ligamentos, músculos y estructuras óseas que rodean la médula espinal son incapaces de absorber la energía del traumatismo, generando una compresión, distracción, flexión, extensión, rotación o flexión lateral de esta (Gutiérrez González et al., 2009; Montoto Marqués



et al., 2008; Strassburguer et al., 2013). La región cervical es la más vulnerable a los traumatismos debido a su limitada estabilidad mecánica y a su mayor movilidad, seguida del nivel torácico como consecuencia del menor diámetro del canal vertebral y la menor vascularización de la médula (Montoto Marqués et al., 2008).

La lesión medular traumática involucra mecanismos primarios y secundarios. La lesión primaria es aquella relacionada con el impacto mecánico tras un traumatismo que produce una afectación del parénquima medular con microhemorragias en la sustancia gris y pérdida de la conducción nerviosa en la sustancia blanca (Montoto Marqués et al., 2008; Strassburguer et al., 2013). Sin embargo, como consecuencia de esta lesión primaria y del edema medular, se desencadena un patrón progresivo e irreversible caracterizado por una cascada bioquímica que desestabiliza la membrana del axón y favorece la apoptosis celular, dando como resultado la lesión secundaria (Montoto Marqués et al., 2008).

### 3.2.1 Clasificación de la lesión medular

Las lesiones medulares pueden clasificarse en función de la etiología, la localización y la totalidad de la misma. Las tres causas más comunes son accidentes de tráfico (38,6%), caídas (32,2%) y violencia (14%), aunque es preciso tener presente el país estudiado ya que, en el caso de Europa, el número de lesiones medulares relacionadas con situaciones de violencia es menor (Bickenbach, Boldt, et al., 2013; NSCISC, 2020). Otro aspecto para tener en cuenta es la localización de la lesión. Si esta se produce a nivel cervical, la persona presentará una afectación de las cuatro extremidades y de todo el tronco (tetraplejía) mientras que, si se produce a nivel toracolumbar, la persona tendrá una paraplejía en la que solo se verán afectadas las extremidades inferiores y la parte del tronco sublesional (Institut Guttmann, 2019).

No obstante, el alcance y la gravedad de la lesión medular y su correspondiente afectación neurológica también depende de si la lesión es completa o incompleta. Según la International Standards for Neurological Classification of Spinal Cord Injury y la American Spinal Injury Association (ASIA) (Bickenbach et al., 2013), se concluye que una lesión medular es completa cuando hay ausencia de función sensorial y motora en los segmentos sacros inferiores (S4-S5). Consecuentemente, si existe preservación de la función motora o sensitiva por debajo del nivel neurológico incluyendo los segmentos sacros, estaremos hablando de una lesión medular incompleta (Bickenbach et al., 2013; Montoto Marqués et al., 2008).

La valoración y clasificación neurológica se realiza siguiendo la *American Impairment Scale* (AIS)<sup>1</sup> desarrollada por la ASIA en la que se establecen las definiciones básicas para una correcta valoración y examen neurológico, permitiendo la identificación del tipo y grado de afectación y, por ende, el pronóstico de la persona (Montoto Marqués et al., 2008). Actualmente, y analizando los valores obtenidos en el *Informe de 2020 de Facts and Figures*, la tetraplejía incompleta es la categoría neurológica más frecuente (47,2%), seguida de la paraplejía completa (20,2%). La frecuencia de paraplejía incompleta (19,6%), respecto a la completa es prácticamente la misma. Por último, el 12,3% presentaron una tetraplejía completa (NSCISC, 2020).

---

<sup>1</sup> Ver Anexo 1. *American Impairment Scale* (AIS).



Una vez realizada la valoración y clasificación neurológica, en aquellos casos de lesión incompleta, es posible diferenciar una serie de síndromes medulares<sup>2</sup> a partir del cuadro clínico que presenta la persona, distinguiéndose el síndrome centromedular, el síndrome de Brown-Séquard, el síndrome medular anterior, el síndrome medular posterior, el síndrome del cono medular y la cola de caballo, desarrollados en el Anexo 2.

#### 4. Impacto de la lesión medular en las actividades de la vida diaria y la calidad de vida de las personas

El ser humano se caracteriza por su naturaleza ocupacional, constituyéndose la ocupación como mecanismo biológico natural de la salud (Rubio Ortega & Sanz Valer, 2011). La vida de las personas, a través del uso de sus manos, se fundamenta en un hacer constante y significativo que les permite experimentar independencia, equidad, participación y seguridad e influye en el estado de su propia salud y bienestar (Ávila Álvarez et al., 2010).

Además, las ocupaciones se establecen como una forma de organización del tiempo de la vida diaria, siendo específicas para cada etapa del ciclo vital (Ávila Álvarez et al., 2010; Moruno Miralles & Romero Ayuso, 2006). No obstante, existen un tipo de actividades que se realizan cotidianamente, son las conocidas como actividades de la vida diaria, estrechamente vinculadas con la supervivencia de la persona (Moruno Miralles & Romero Ayuso, 2006). A lo largo de los años, se han elaborado múltiples definiciones en las que se enfatiza la importancia del autocuidado (alimentación, higiene, aseo...), el trabajo y/o educación y el ocio, así como la limpieza de la casa o la toma de medicación, entre otras (Ávila Álvarez et al., 2010; Moruno Miralles & Romero Ayuso, 2006).

La *American Occupational Therapy Association* (AOTA), con el fin de clasificar todas las actividades en las que participa el ser humano, establece ocho áreas de ocupación: actividades de la vida diaria (AVD), actividades instrumentales de la vida diaria (AIVD), descanso y sueño, educación, trabajo, juego, ocio y participación social (Ávila Álvarez et al., 2010). Partiendo de esta categorización, es preciso definir qué actividades incluye la AOTA en el área ocupacional de las AVD, distinguiéndose: ducha, cuidado del intestino y la vejiga, vestido, comer y alimentación, movilidad funcional, cuidado de los dispositivos de atención personal, higiene y arreglo personal, actividad sexual e higiene en el inodoro (Ávila Álvarez et al., 2010).

Del mismo modo, la Clasificación Internacional del Funcionamiento, de la Discapacidad y de la Salud (CIF) clasifica las actividades y participación en nueve categorías diferentes: aprendizaje y aplicación del conocimiento, tareas y demandas generales, comunicación, movilidad, autocuidado, vida doméstica, interacciones y relaciones interpersonales, áreas principales de la vida y, por último, vida comunitaria, social y cívica. Haciendo hincapié en las actividades de autocuidado definidas por la CIF se especifican: lavarse, el cuidado de partes del cuerpo, la higiene personal relacionada con los procesos de excreción, vestirse, comer, beber, el cuidado de la propia salud y el autocuidado otro/no especificado (OMS, 2001).

Ambas organizaciones consideran que la realización de estas actividades es el resultado de la interacción dinámica de las características de la persona, entendidas como el conjunto de sus

---

<sup>2</sup> Ver Anexo 2. Lesión medular incompleta – Síndromes medulares.

valores, creencias, estructuras y funciones corporales, así como las destrezas y patrones de ejecución necesarias para dar respuesta a las demandas de la actividad y a los factores contextuales (Ávila Álvarez et al., 2010; OMS, 2001).

En el momento en el que irrumpe la lesión medular, todos los aspectos de la vida se ven alterados ya que la persona experimenta una disminución de sus capacidades físicas y una limitación a la hora de llevar a cabo sus ocupaciones (Bickenbach, Biering-Sorensen, et al., 2013; Méndez Méndez & Bové Porta, 2003). La aparición de una lesión medular se caracteriza por ser un acontecimiento en la vida de la persona que marca un antes y un después. Además, no afecta únicamente aspectos físicos sino que en la mayoría de los casos tiene una importante repercusión en las esferas psicológica y social (Henao-Lema & Pérez-Parra, 2010; Méndez Méndez & Bové Porta, 2003). La persona tiene que aprender a reconocerse y adaptarse a su nueva condición y, en función de la gravedad de la lesión, aceptar que son dependientes en algunas o todas las áreas de su vida (Méndez Méndez & Bové Porta, 2003).

Franceschini et al., llevaron a cabo un estudio longitudinal en el que evaluaron la asociación entre el nivel, el grado de afectación y la etiología de la lesión medular con variables relacionadas con la percepción de calidad de vida. Sus resultados muestran una correlación significativa entre el nivel de la lesión y el grado de autonomía de las personas (Henao-Lema & Pérez-Parra, 2010). Otras investigaciones concluyen que las personas con lesión medular experimentan una menor calidad de vida respecto a la población general debido a problemas con la accesibilidad en el transporte, edificios, etc., el apoyo social, las relaciones sociales y familiares, los problemas de salud como puede ser el dolor o la espasticidad y, sobre todo, la pérdida de autonomía y de control de su vida. La seguridad económica y la actitud respecto a la vida también son factores relevantes en la percepción de calidad de vida (Gifre Monreal et al., 2010).

Muchos de estos factores vienen determinados por el entorno en el que viven. Este puede ser facilitador gracias a los recursos y servicios disponibles, las relaciones de apoyo e inclusión comunitaria. Sin embargo, el entorno también puede ejercer como factor limitador si las personas con lesión medular tienen que enfrentarse a actitudes discriminatorias, vivir en un contexto en el que no existen dichos recursos o no pueden acceder a ellos (Bickenbach, Biering-Sorensen, et al., 2013). Con el fin de evitar estas situaciones, la *Convención sobre los Derechos de las Personas con Discapacidad* estableció en el artículo 31 que los Estados Partes tienen que recopilar datos estadísticos que permitan formular y aplicar políticas que hagan efectivos los derechos consagrados en la Convención, de modo que las personas con lesiones medulares y otras discapacidades, pueden participar plenamente en todos los ámbitos de la sociedad, desde la vida familiar, la educación y el empleo hasta la comunidad y el país (Bickenbach, Boldt, et al., 2013).

#### 4.1 Clasificación Internacional del Funcionamiento, de la Discapacidad y de la Salud

La Clasificación Internacional del Funcionamiento, de la Discapacidad y de la Salud (CIF), tiene el objetivo de ofrecer un lenguaje unificado y estandarizado para describir la salud y los estados relacionados con la salud. Esta clasificación se caracteriza por describir la situación de cada persona basándose en dos dominios principales: las funciones y estructuras corporales y las actividades-participación, teniendo presente la influencia de los factores ambientales y personales (Bickenbach, Biering-Sorensen, et al., 2013; OMS, 2001). A partir de este enfoque

biopsicosocial, es posible elaborar un perfil sobre el funcionamiento y la discapacidad de la persona, basándose en aspectos tanto individuales como sociales. Esta información basal permitirá establecer la eficacia y el resultado de las intervenciones, además de ser un indicador de calidad de vida (Henao-Lema & Pérez-Parra, 2010; OMS, 2001).

La CIF entiende la discapacidad como un proceso continuo de ajuste entre las capacidades del individuo con una condición de salud específica y los factores externos relacionados que determinan una limitación o restricción en las actividades y en la participación de la persona. Por un lado, la CIF considera las deficiencias como aquellos problemas en la función corporal o alteraciones en la estructura corporal (parálisis o pérdida del control de la vejiga e intestino). Por otro lado, define las limitaciones de actividad como aquellas dificultades en la ejecución de actividades (caminar o comer) mientras que, por último, las restricciones de participación son problemas con la participación en cualquier área de la vida, influenciadas por las expectativas y exigencias del entorno (discriminación en el empleo o el transporte) (Bickenbach, Biering-Sorensen, et al., 2013; Henao-Lema & Pérez-Parra, 2010).

El esquema conceptual de la CIF que se presenta en la Ilustración 1 representa las múltiples interacciones entre las dimensiones y áreas que representan la discapacidad.

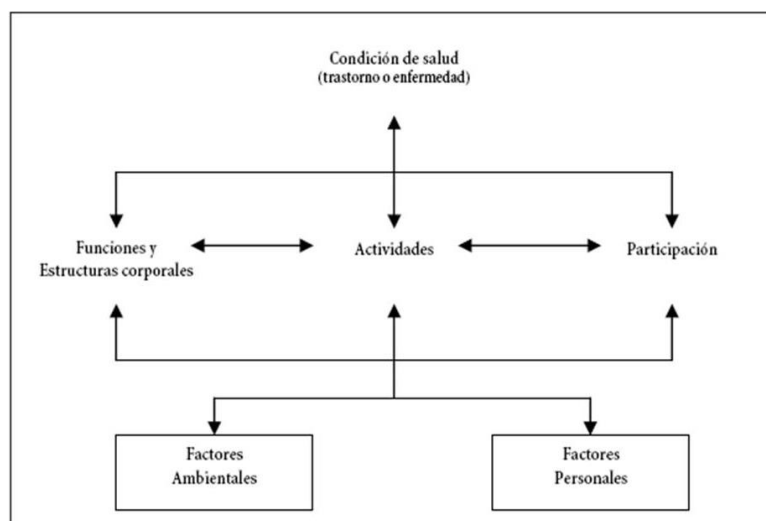


Ilustración 1. Esquema conceptual de la CIF

El planteamiento de intervención integral que ofrece la CIF se fundamenta en principios básicos de interdisciplinariedad e intersectorialidad en el que se involucra de forma activa a la familia y los diferentes sectores en los que participa la persona (educativo, laboral, de bienestar social, legislativo...). Además, posiciona a la persona como eje principal, otorgándole un rol activo en todo el proceso rehabilitador, definiendo sus necesidades y compartiendo sus expectativas (Henao-Lema & Pérez-Parra, 2010).

Además, para garantizar y facilitar este proceso se han desarrollado diferentes propuestas de evaluación que permiten describir y evaluar el funcionamiento de las personas de acuerdo con diversas condiciones de salud o momentos específicos del proceso de rehabilitación. En la actualidad se cuenta con tres tipos de herramientas de evaluación compatibles conceptualmente con el modelo de discapacidad de la OMS:

- **Lista de comprobación breve de la CIF (checklist).** Consta de 125 ítems que permiten establecer de manera sencilla un perfil de funcionamiento y discapacidad de la persona en las áreas más relevantes. Instrumento sugerido para la aplicación en situaciones clínicas (Henao-Lema & Pérez-Parra, 2010).
- **Conjuntos o categorías básicas (core sets).** Las categorías básicas de la CIF son grupos de ítems de evaluación específicos para la valoración de personas con condiciones de salud de alta carga global por enfermedad. Hasta el momento se han desarrollado para doce condiciones de salud en las áreas musculoesquelética, cardiovascular, neurológica y oncológica. Específicamente para la lesión medular, se ha desarrollado un core set con datos internacionales que se pueden utilizar en el trabajo clínico y de investigación (Bickenbach, Biering-Sorensen, et al., 2013; Henao-Lema & Pérez-Parra, 2010).
- **WHO-DAS II (World Health Organization Disability Assessment Schedule II).** Instrumento que evalúa de forma multidimensional el funcionamiento y la discapacidad haciendo hincapié en las áreas de actividad y participación. Además, permite obtener una puntuación global del grado de discapacidad independientemente de la condición de salud a evaluar. El perfil de funcionamiento consta de seis dominios de actividades: a) comprensión y comunicación, b) cuidado personal, c) capacidad de relacionarse con otras personas, d) actividades de la vida diaria y, e) participación en sociedad. Esta información puede ser utilizada para identificar necesidades, programar y controlar los procesos de intervención y medir los resultados y la efectividad de los tratamientos. (Henao-Lema & Pérez-Parra, 2010).

## 5. Sensores portátiles y monitorización de las actividades de la vida diaria

Las personas con una lesión medular se caracterizan por tener diferentes grados de afectación sensoriomotora que repercuten directamente en la realización de las actividades de la vida diaria (Schneider et al., 2019), así como en una disminución de la actividad física (Popp et al., 2019; Schneider et al., 2018) y un mayor riesgo de caídas en aquellas personas que pueden caminar (Lemay et al., 2020).

Existe evidencia que demuestra que las terapias de rehabilitación basadas en la actividad promueven la recuperación motora de las extremidades superiores (EESS) tras una lesión medular. Sin embargo, no existe ningún protocolo estandarizado que plantee un entrenamiento de la función de la EESS ya que estos varían en frecuencia, duración e intensidad (Brogioli et al., 2016). Además, con el fin de mantener un cierto nivel de independencia y realizar las AVD, las personas con una lesión medular alta, aprenden estrategias compensatorias durante el proceso de rehabilitación (efecto tenodesis, abducción de hombro...) que difiere de la recuperación biológica (Schneider et al., 2019). Actualmente, la cuantificación de la recuperación de la EESS se limita a cuestionarios subjetivos o mediciones dispersas de la función muscular y los rangos articulares, evaluaciones poco sensibles a las compensaciones de la EESS (Brogioli et al., 2016; Schneider et al., 2019).

Paralelamente a esta limitación en las AVD, las personas con una lesión medular baja con capacidad para caminar presentan un mayor riesgo de caídas. Se estima que el 78% de las personas con capacidad de marcha caen al menos una vez al año, favoreciendo la aparición de lesiones físicas. Consecuentemente, con el fin de evitar situaciones que supongan un riesgo para su integridad, la persona puede reducir su participación en diferentes áreas ocupacionales

(Lemay et al., 2020), adoptando una conducta más sedentaria a través de la disminución de su actividad física diaria (Brogioli et al., 2017). Además, es importante tener presente que los niveles de actividad física varían durante todo el proceso de rehabilitación y en función de las características de la persona (motivación, estado de salud general, presencia de dolor...), así como también están influenciados por factores ambientales (Schneider et al., 2018).

Sólo entre el 13-16% de la población con una lesión medular refiere ser físicamente activa (Popp et al., 2019), hecho que se asocia a menores niveles de enfermedades cardiovasculares y a una reducción de factores de riesgo como la diabetes tipo 2, la lipoproteína de alta densidad y la concentración de colesterol (Brogioli et al., 2017; Popp et al., 2019). Además de estas mejoras en la condición de salud, la actividad física también tiene un efecto positivo en la recuperación global de la persona, la mejora funcional de las EESS y el rendimiento en las AVD aunque no existe suficiente evidencia que avale estos resultados debido a la falta de evaluaciones objetivas (Schneider et al., 2018).

Recientemente y con el fin de dar respuesta a esta falta de datos objetivos, se ha incorporado una tecnología prometedora basada en sensores portátiles o wearables, como los acelerómetros y las unidades de medición inercial que, gracias a que se pueden conectar en diferentes lugares anatómicos, permiten monitorizar el tipo, cantidad y calidad de las actividades cotidianas, el uso de la EESS durante la terapia y durante su tiempo libre, así como las compensaciones relacionadas y el nivel de actividad física (Brogioli et al., 2016, 2017; Moncada-Torres et al., 2014; Popp et al., 2019). Consecuentemente, estos dispositivos se constituyen como una herramienta de evaluación que podría ser factible para proporcionar datos objetivos, continuos y sensibles relacionados con el proceso de rehabilitación de las personas con lesión medular ya que poseen validez y fiabilidad (Brogioli et al., 2016; Lemay et al., 2020). Además, su facilidad de uso, bajo coste y discreción son una ventaja para su inclusión en estudios de investigación, con buena aceptación por parte de los sujetos los cuales los perciben como un accesorio socialmente aceptado (reloj o pulsera) (Lemay et al., 2020; Moncada-Torres et al., 2014).

En la última década se han realizado multitud de estudios utilizando esta tecnología con diferentes perfiles de población en los que se han colocado sensores en muñecas, tobillos, pecho y rueda de la silla de ruedas. No obstante, hoy en día no existen directrices sobre la selección y la colocación óptima de los sensores para el desarrollo de estudios de investigación. Asimismo, dicha información podría reducir el número requerido de módulos, garantizando un buen rendimiento y minimizando las molestias para el sujeto. Moncada-Torres y colaboradores (2014) afirman que la mejor ubicación es en las muñecas ya que los módulos ofrecen un mejor rendimiento, son de fácil acceso y requieren un esfuerzo mínimo para su colocación, además de la discreción comentada anteriormente, factores que favorecen el cumplimiento de los requerimientos de la investigación (Moncada-Torres et al., 2014).

Otro aspecto para tener en cuenta a la hora de utilizar este tipo de sensores portátiles es su autonomía. Varios estudios refieren que la batería de estos sensores es de 24 horas, hecho que limita mucho la recogida continuada de datos (Brogioli et al., 2017; Moncada-Torres et al., 2014). En contraposición, los sensores portátiles disponibles comercialmente disponen de una mayor autonomía, aproximadamente de una semana. Sin embargo, estos dispositivos están diseñados para estimar el gasto de energía en población sin discapacidad física y, por ende, no

están preparados para obtener datos confiables en personas con una lesión medular. Asimismo, cabe decir que en función del dispositivo, la precisión de la estimación puede variar de mala a buena (Popp et al., 2019).

Por último, es preciso determinar el número de días de registro óptimo para obtener datos significativos con relación al proceso de rehabilitación y a los objetivos del estudio de investigación. Schneider y colaboradores (2018) desarrollaron un estudio en el que concluyen que medir durante siete días otorga datos excelentes de confiabilidad para todas las variables a estudiar. Asimismo, es importante tener presente la condición clínica, la etapa de la rehabilitación y el grado de deterioro funcional de la persona con lesión medular. Además, también establecen una diferenciación entre la actividad física realizada entre semana y durante el fin de semana en función de la fase de rehabilitación en la que se encuentre la persona. Consecuentemente, observaron que inicialmente no existen cambios significativos debido a un mayor número de tratamientos individuales mientras que, a medida que se incrementa el programa de terapia semanal, disminuye la actividad en el fin de semana (Schneider et al., 2018).

Partiendo de toda esta información, se plantea un estudio piloto con el objetivo de evaluar los beneficios del uso de la banda fitness Xiaomi MiBand 4 para la monitorización de la actividad diaria de personas con una lesión medular traumática incompleta hospitalizadas en el Institut Guttmann con el fin de determinar si su incorporación favorece a la objetivación del proceso rehabilitador.

## OBJETIVOS

### Objetivo principal

Evaluar los beneficios del uso de la banda fitness Xiaomi MiBand 4 para la monitorización de la actividad diaria de personas con una lesión medular traumática incompleta hospitalizadas en el Institut Guttmann.

### Objetivos secundarios

Partiendo de las variables que permite registrar la banda fitness Xiaomi MiBand 4, se desprenden los siguientes objetivos secundarios:

- Determinar si la banda fitness Xiaomi MiBand 4 registra el número de pasos mientras la persona realiza un entrenamiento de la marcha con diferentes dispositivos.
- Identificar si existen cambios en el nivel de actividad durante el fin de semana y los periodos fuera del programa de rehabilitación.
- Identificar los cambios en la frecuencia cardíaca en función del tipo de actividad realizada.
- Valorar diferencias entre el número de horas de sueño registradas entre semana y durante el fin de semana.

## METODOLOGÍA

La propuesta de estudio que se ha llevado a cabo ha sido un estudio piloto en el que se han utilizado las bandas fitness Xiaomi MiBand 4<sup>3</sup> (*Mi Smart Band 4 / Xiaomi España, s. f.*). Estas se caracterizan por asemejarse a un accesorio socialmente aceptado gracias al reloj que tiene incorporado. Una de sus principales funciones es la monitorización de salud a través del seguimiento de la frecuencia cardíaca, generando alarmas si esta es demasiado alta. También controla los patrones de sueño las 24h del día, los siete días de la semana, diferenciando el sueño profundo del ligero.



Ilustración 2. Xiaomi MiBand 4

Otra de las características básicas del dispositivo es que permite realizar un seguimiento de actividad y de nado. Dispone de cinco conjuntos de datos que permiten mejorar la eficiencia de la marcha a pie, así como realizar un control del ritmo y del número de pasos. Además, la pulsera es resistente al agua hasta 50 metros, con la capacidad de reconocer cinco estilos de natación diferentes y registrar doce conjuntos de datos incluyendo el ritmo de natación y el número de brazos (*Mi Smart Band 4 / Xiaomi España, s. f.*).

Todos estos datos de salud pueden verse a través de la aplicación móvil *Mi Fit*, así como también pueden hacerlo a través de la propia pantalla del dispositivo, generando un efecto motivacional para la persona. Por último, la pulsera consta de una batería con una durabilidad de hasta 20 días en función del nivel de actividad de la persona (*Mi Smart Band 4 / Xiaomi España, s. f.*).

### Participantes y entorno

La muestra para el estudio ha sido de 4 personas, todas ellas reclutadas de forma voluntaria en el Institut Guttmann - Hospital de neurorehabilitación. Los criterios de inclusión fueron los siguientes: (1) adultos con una lesión medular incompleta (AIS C o D), (2) de etiología traumática, (3) ingresadas en el Institut Guttmann y (4) realizando entrenamiento de la marcha o con marcha autónoma, independientemente de si necesita alguna ayuda técnica. En contraposición, los participantes fueron excluidos si presentaban otro trastorno neurológico o lesión medular completa, presencia de dolor neuropático u otra psicopatología asociada.

Antes de empezar con el estudio y dar su consentimiento, se les facilitó toda la información con los objetivos y procedimientos de la investigación, así como un breve cuestionario para verificar que habían comprendido las implicaciones del estudio<sup>4</sup>. Se recogió información demográfica sobre la edad, el sexo, nivel de la lesión y tiempo de hospitalización de cada paciente (Tabla 1).

Tabla 1: Información demográfica de los participantes				
PARTICIPANTE	EDAD	SEXO	NIVEL DE LA LESIÓN	TIEMPO DE HOSPITALIZACIÓN
1	38	Mujer	T9 AIS C	3 meses
2	42	Hombre	T11 AIS C	1 mes
3	21	Hombre	C5 AIS D	1 mes
4	70	Hombre	C5 AIS C	4 meses

<sup>3</sup> Ver Anexo 3. Especificaciones de las bandas fitness Xiaomi MiBand 4.

<sup>4</sup> Ver Anexo 4.1, 4.2 y 4.3: ATTRACT - 3D kinematics for remote patient monitoring (RPM3D).



## Procedimientos de estudio

Cada participante del estudio llevó durante 7 días la banda fitness Xiaomi MiBand 4. Todos ellos siguieron su rutina diaria y programa de rehabilitación, aunque se hizo hincapié en el hecho de que no se podían quitar la banda fitness durante la semana de recogida de datos. Además, se les facilitó un horario en el que registrar el tipo de actividad realizada fuera de los periodos de rehabilitación con el fin de detectar diferencias respecto a la tarde y al fin de semana<sup>5</sup>.

Al finalizar, tanto a los participantes como al terapeuta de referencia, se les proporcionó un cuestionario final<sup>6</sup> para recoger la experiencia de ambas partes utilizando la banda fitness Xiaomi MiBand 4.

## Medidas de resultado

Los participantes usaron Xiaomi MiBand 4, dispositivo que consta de un acelerómetro y un giroscopio de 3 ejes cada uno, un sensor de frecuencia cardíaca PPG y un sensor de proximidad capacitivo para recoger los seis modos de entrenamiento y monitorizar los parámetros de salud. Se colocaron las bandas fitness en la mano dominante ( $n = 3$ ) o con mayor funcionalidad ( $n = 1$ ) con el objetivo de registrar la cantidad de uso de la extremidad superior.

Después de la semana de recopilación de datos, estos se volcaron en la aplicación móvil *Gadgetbridge*, muy similar a la de *Mi Fit*. Posteriormente, el investigador principal del estudio procesó los datos y generó un documento de Excel en el que se recopilaba toda la información obtenida, clasificándola en diferentes variables de las que destacan, el número de pasos por día, la frecuencia cardíaca, la intensidad del paso y el tipo de actividad realizada (sueño, actividad de manos normal en bipedestación o sedestación, caminar...). En la Ilustración 3 es posible observar cómo se presentaba la información en el documento de Excel.

	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
1	date	daily_total	hour_10	ten_minute_st	cumulative_daily_st	idow	week_weekend	mean_heart_rate	sd_heart_rate	raw_intensity	raw_kind	activity
2	2021-4-19	6268	11:30	41	41	Mon	Weekday	90,7	14,06374377	613	96	de pie actividad manos normal
3	2021-4-19	6268	11:40	12	12	Mon	Weekday	80,2	14,61962152	551	80	sentado actividad manos normal
4	2021-4-19	6268	11:50	142	142	Mon	Weekday	81,4	15,67871877	827	80	sentado actividad manos normal
5	2021-4-19	6268	11:50	142	284	Mon	Weekday	81,4	15,67871877	827	96	de pie actividad manos normal
6	2021-4-19	6268	12:00	10	10	Mon	Weekday	92,1	11,92057046	755	96	de pie actividad manos normal
7	2021-4-19	6268	12:10	81	81	Mon	Weekday	82,8	14,5891893	830	96	de pie actividad manos normal
8	2021-4-19	6268	12:20	45	45	Mon	Weekday	75,1	12,52064961	666	96	de pie actividad manos normal
9	2021-4-19	6268	12:30	34	34	Mon	Weekday	82,7	13,8246961	529	80	sentado actividad manos normal
10	2021-4-19	6268	12:30	34	68	Mon	Weekday	82,7	13,8246961	529	96	de pie actividad manos normal
11	2021-4-19	6268	12:40	0	0	Mon	Weekday	80,5	9,478044805	366	80	sentado actividad manos normal
12	2021-4-19	6268	12:40	0	0	Mon	Weekday	80,5	9,478044805	366	96	de pie actividad manos normal
13	2021-4-19	6268	12:50	26	26	Mon	Weekday	76,9	9,893319856	709	96	de pie actividad manos normal
14	2021-4-19	6268	13:00	269	269	Mon	Weekday	82,5	14,66098375	732	96	de pie actividad manos normal
15	2021-4-19	6268	13:10	24	24	Mon	Weekday	70,5	10,10225497	447	96	de pie actividad manos normal
16	2021-4-19	6268	13:20	106	106	Mon	Weekday	80,7	12,13855199	686	96	de pie actividad manos normal
17	2021-4-19	6268	13:30	81	81	Mon	Weekday	72,7	8,165646195	614	80	sentado actividad manos normal
18	2021-4-19	6268	13:40	119	119	Mon	Weekday	80,6	11,31567251	658	80	sentado actividad manos normal
19	2021-4-19	6268	13:40	119	238	Mon	Weekday	80,6	11,31567251	658	96	de pie actividad manos normal
20	2021-4-19	6268	13:50	96	96	Mon	Weekday	75,2	11,99814801	609	80	sentado actividad manos normal
21	2021-4-19	6268	14:00	0	0	Mon	Weekday	78	16,26857912	361	96	de pie actividad manos normal

Ilustración 3. Datos registrados en el documento de Excel

## Análisis estadístico

Se utilizó el programa estadístico PSPP para obtener los valores estadísticos descriptivos (media y desviación estándar) sobre la información demográfica de los participantes (sexo, edad y tiempo después de la lesión), así como el propio programa de Excel para determinar los parámetros de la marcha (número de pasos/día), la variabilidad de la frecuencia cardíaca y las horas de sueño.

<sup>5</sup> Ver Anexo 5. Registro de actividad semanal

<sup>6</sup> Ver Anexo 6.1 y 6.2. Cuestionarios finales.



## RESULTADOS

En este estudio han participado 4 personas (75% hombres, 25% mujeres) con lesión medular traumática. La edad promedio de los participantes era de 42.75 años (desviación estándar=20.32), siendo el 75% usuarios de silla de ruedas para los desplazamientos. El 50% de las personas presentaban una lesión a nivel cervical mientras que el otro 50%, era a nivel torácico. A su vez, el 75% de las lesiones era una AIS C respecto a un 25% que era AIS D. Por último, el tiempo de hospitalización hasta el inicio del estudio era de un promedio de 2.25 meses (desviación estándar=1).

Con el fin de hacer un análisis más detallado de los datos registrados por la banda fitness Xiaomi MiBand 4, a continuación, se presentan los valores tanto en conjunto como individualmente, resaltando las especificidades de cada uno de ellos. En primer lugar, este estudio tenía como objetivo determinar si el dispositivo era capaz de contabilizar el número de pasos mientras se hacía entrenamiento de la marcha. Si se observa el Gráfico 1, el promedio de pasos realizados por cada participante varía considerablemente, despuntando los valores del usuario 3, el cual presenta marcha autónoma y, durante la semana de recogida de información, realizó una media de 13620 pasos/día.

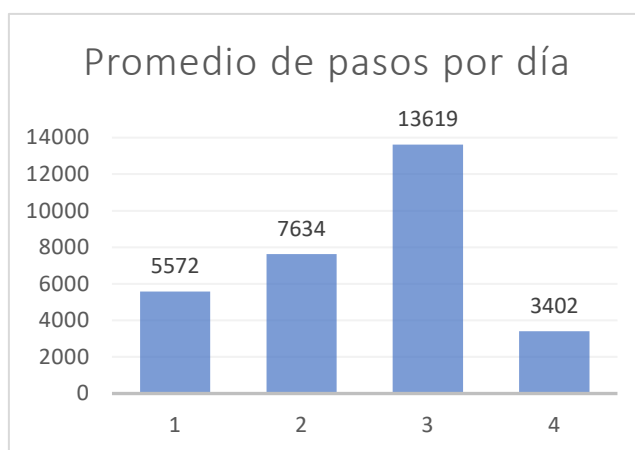


Gráfico 1. Promedio de pasos por día

No obstante, si nos centramos en los resultados obtenidos durante el entrenamiento de la marcha de los participantes 1, 2 y 4, se identifican una serie de incongruencias respecto a los valores registrados por los propios dispositivos del Institut Guttmann. El entrenamiento de la marcha consistía, según las necesidades de cada participante, en sesiones de Lokomat o con el exoesqueleto ABLE, uso de caminador o Trolley. En los Gráficos 2 y 3 se observa como durante el uso del Lokomat o el exoesqueleto ABLE, el cómputo total de pasos realizados varía significativamente respecto a los valores registrados por la banda fitness, categorizando dicho entrenamiento como “de pie con actividad de manos normal” y “sentado con actividad de manos normal” en vez de “caminar”.

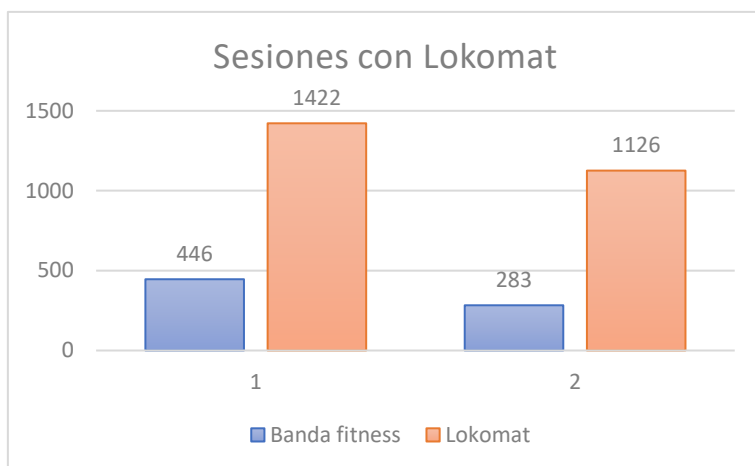


Gráfico 2. Comparativa de pasos banda fitness y Lokomat



Ilustración 4. Banda fitness y Lokomat

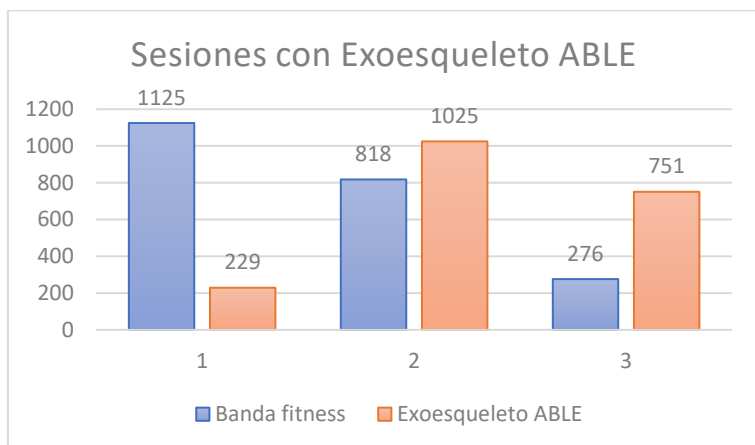


Gráfico 3. Comparativa de pasos banda fitness y exoesqueleto ABLE



Ilustración 5. Banda fitness y exoesqueleto ABLE

Por otro lado, al analizar los valores obtenidos en el resto de las actividades del programa rehabilitador de los participantes 1, 2 y 4 (Gráfico 4), se observa un incremento de pasos en aquellas actividades que no implican deambulación, pero que son más demandantes de movimiento de las EESS, como por ejemplo en Hidroterapia o Fitness, categorizándolas como “de pie con actividad de manos normal” o “caminar”.

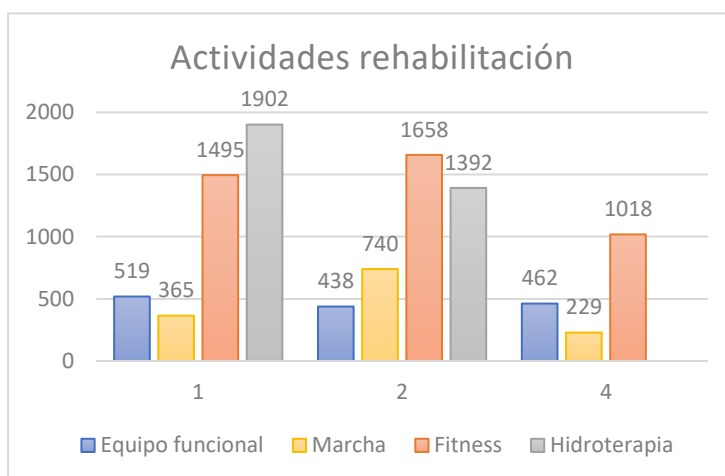


Gráfico 4. Actividades de rehabilitación y número de pasos

El recuento de pasos de los participantes también ha permitido identificar diferencias respecto al nivel de actividad durante el fin de semana y una vez finalizado el programa de rehabilitación diario. En el Gráfico 5 se muestran los valores registrados de cada participante, coincidiendo en todos ellos un descenso, en mayor o menor grado de estos. No obstante, se decidió analizar el tipo de actividad registrada por la banda fitness Xiaomi MiBand 4 con el fin de justificar la variabilidad en el nivel de actividad de las personas con lesión medular traumática hospitalizadas en el Institut Guttmann.

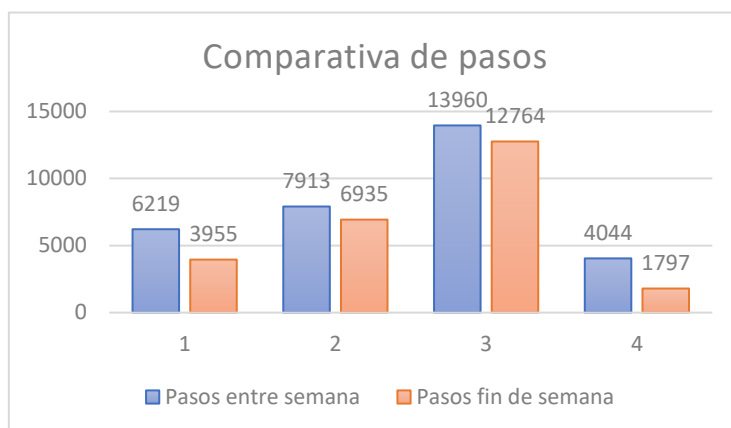


Gráfico 5. Comparativa de pasos

Destacan tres categorías durante el día, *caminar*, *de pie con actividad de manos normal* y *sentado con actividad de manos normal*. En los Gráficos 6-9, se observa como durante las horas de rehabilitación existe una tendencia a considerar los ejercicios realizados como actividades en bipedestación a pesar de estar haciendo un entrenamiento de la marcha. No obstante, en el participante 3, se identifica una mayor actividad en sedestación durante las dos horas de Equipo funcional, con un registro de 10 minutos antes y después de *caminar* que indica el desplazamiento hasta el gimnasio o la habitación. Además, cabe recordar que esta persona presentaba una marcha autónoma por lo que los objetivos de rehabilitación estaban orientados a la mejora de la función de las EESS. Respecto a los periodos tras la rehabilitación y durante el fin de semana, todos ellos experimentan un aumento de horas en sedestación y de pie, aunque también se evidencia un leve incremento de la actividad *caminar*, especialmente entre semana.

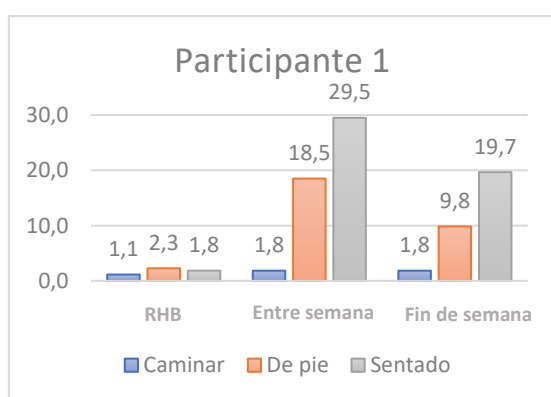


Gráfico 6. Horas de actividad participante 1

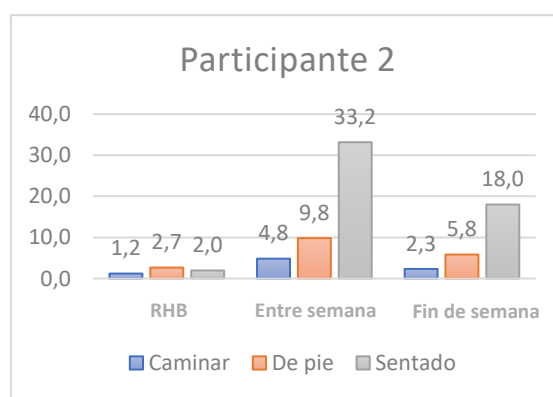


Gráfico 7. Horas de actividad participante 2

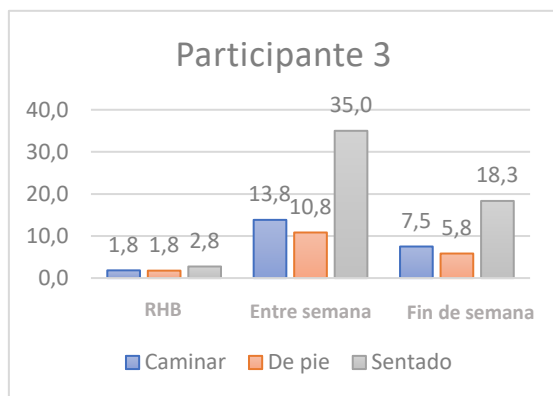


Gráfico 8. Horas de actividad participante 3

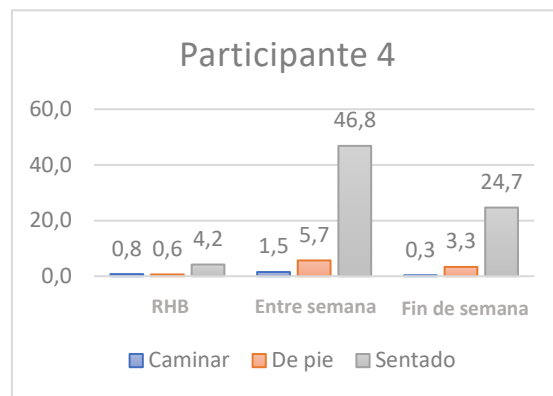


Gráfico 9. Horas de actividad participante 4

El tercer objetivo del estudio estaba centrado en identificar cambios en la frecuencia cardíaca en función del tipo de actividad realizada. En el Gráfico 10 se especifica la frecuencia cardíaca durante el programa de rehabilitación, los periodos de reposo entre semana y en el fin de semana, así como durante el sueño. La diferencia más significativa es la relacionada con los valores registrados durante el sueño, con una disminución natural de la frecuencia cardíaca. No obstante, aunque no se observa un aumento característico durante la rehabilitación comparativamente con los periodos de reposo, si se analiza la frecuencia cardíaca en aquellas actividades más demandantes de esfuerzo físico (hidroterapia, fitness, cardio...), sí que se registra un leve incremento del valor respecto a la frecuencia cardíaca base.

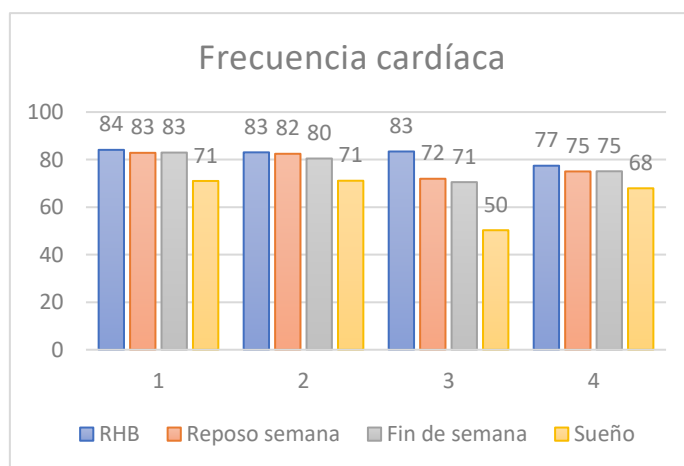


Gráfico 10. Diferencias en la frecuencia cardíaca

Respecto al cuarto objetivo del estudio, no se observan diferencias significativas entre el número de horas de sueño registradas entre semana y durante el fin de semana (Gráfico 11). Existen participantes (2 y 3) que mantienen el número de horas, mientras que el participante 1 incrementa las horas de sueño y el participante 4, duerme una hora menos. La banda fitness Xiaomi MiBand 4 registra esta actividad como sueño, pero es capaz de diferenciar movimientos durante el sueño y, puntualmente, cuando la persona se encuentra en sueño profundo. Además, cabe decir que los patrones de sueño de cada uno de ellos son totalmente

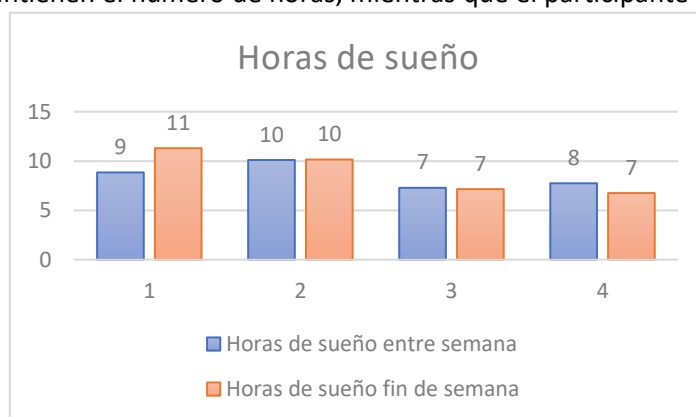


Gráfico 11. Horas de sueño

diferentes, identificándose periodos de sueño después de comer y a partir de las cinco de la tarde, una vez finalizada la rehabilitación.

Por último, en el cuestionario final los participantes reflejaron con un promedio del 4.5 que se sintieron cómodos usando la banda fitness Xiaomi MiBand 4, así como también consideraron útil la información proporcionada. Además, refieren que no les ha interferido en su rutina y la realización de las actividades de la vida diaria, dato que se objetiva con un promedio de 1. Otro valor recogido en el cuestionario era si se habían sentido más motivados a mantenerse activos durante el día, hecho que se tradujo en un promedio del 3.75.

## DISCUSIÓN

Este estudio piloto tenía como objetivo principal evaluar los beneficios del uso de la banda fitness Xiaomi MiBand 4 para la monitorización de la actividad diaria de personas con una lesión medular traumática incompleta hospitalizadas en el Institut Guttmann. De este objetivo se desprendieron una serie de objetivos secundarios relacionados con las variables que permite registrar el dispositivo, tales como el número de pasos, el tipo de actividad realizada, las horas de sueño y la frecuencia cardíaca.

Si se analizan las características del dispositivo, los creadores estiman que la batería tiene una durabilidad de 20 días, pero en la práctica, esta es de aproximadamente 10 días según el nivel de actividad del usuario. No obstante, este tiempo ha permitido la recogida de datos sin interrupciones durante los siete días estipulados por Schneider y colaboradores (2018). En su estudio concluyeron que el uso de wearables durante una semana es tiempo suficiente para obtener resultados significativos en relación con la actividad física de las personas adultas sanas y con lesión medular. Asimismo, consideran que la muestra de su estudio (n=63) es limitada y con gran variabilidad de condiciones neurológicas, así como también se encuentran en etapas crónicas. Consecuentemente, reflexionan sobre la necesidad de establecer una serie de directrices relacionadas con las características físicas y la etapa en la que se encuentra la persona con el fin de realizar una correcta recogida de datos a través del uso de sensores (Schneider et al., 2018).

En relación con el primer objetivo, se observa un registro de pasos diferente en cada participante, relacionado con el nivel de actividad diaria y las capacidades funcionales de cada uno de ellos. Respecto al número de pasos diarios recomendados para una persona con lesión medular, se estima que este es de mínimo 2000-3000 pasos con una intensidad moderada. No obstante, la OMS considera que 8000 pasos sería el equivalente a los 10000 pasos en la población sin lesión medular, generando un impacto significativo en la salud y reduciendo la mortalidad. Además, Popp y colaboradores (2019) puntualizan que si la persona participa en alguna actividad deportiva, este valor de 8000 pasos ya quedaría cubierto, favoreciéndose los mismo beneficios para la salud de la persona (Popp et al., 2019).

Siguiendo con los valores registrados por el wearable de Xiaomi y tal y como se ha introducido en el apartado de Resultados, se identificaron una serie de incongruencias a la hora de contar el número de pasos realizados durante el entrenamiento de la marcha. Por un lado, mientras los participantes utilizaban el Lokomat o el exoesqueleto ABLE, ambos con un conteo propio, la

pulsera registró un número diferente de pasos. Este error no es exclusivo de la banda fitness Xiaomi MiBand 4 ya que Brogioli et al. (2016) describieron el reto que supone monitorizar la marcha en personas con una lesión medular. La deambulación es muy heterogénea según la afectación funcional de cada individuo, reduciéndose la velocidad de la marcha, aumentando la base de sustentación y disminuyendo la longitud de paso, entre otras características (Lemay et al., 2020). Además, generalmente este perfil de pacientes necesitan ayudas para la deambulación, como el uso de un caminador o unas muletas, hecho que incrementa la energía invertida (Popp et al., 2019) y altera los algoritmos desarrollados para la detección de la marcha en personas con afectación neurológica (Brogioli et al., 2016; Popp et al., 2019).

Por otro lado, en el Gráfico 4 se muestra como en las actividades de Hidroterapia o Fitness, el total de pasos registrados en comparación con los contabilizados en el entrenamiento de la marcha son significativamente mayores en los tres participantes. Consecuentemente, a pesar de que la muestra no es representativa, estos resultados muestran una tendencia a un recuento de pasos ficticios por parte del dispositivo utilizado para este estudio en aquellas actividades que implican mayor movimiento de las EESS, modificando nuevamente el algoritmo del dispositivo. En este contexto, se ha demostrado en otras poblaciones (ancianos, esclerosis múltiple y accidente cerebrovascular) que la energía requerida en los desplazamientos o en las AVD's se puede estimar utilizando varios sensores portátiles. Consecuentemente, disponer de sensores múltiples proporciona una mayor precisión de estimación en comparación con las configuraciones de un solo sensor ya que los déficits que se manifiestan en diferentes lugares del cuerpo se pueden tener en cuenta. Por lo tanto, se concluye que a partir del desarrollo de un modelo de estimación de energía requerida, basado en los datos de wearables, se favorecería el registro de datos y la adaptación a las necesidades de las personas con lesión medular (Popp et al., 2019).

Las bandas fitness, además del conteo de pasos realizados, también permiten un seguimiento de las actividades en las que participa la persona. Cada dispositivo consta de un abanico de actividades configuradas, pero también es importante tener presente el nivel de estimación ya que este puede variar de malo a bueno según las características de la pulsera, así como si estas se adaptan a las necesidades del usuario (Popp et al., 2019). Si nos centramos en las funciones deportivas de la banda fitness Xiaomi MiBand 4, esta dispone de seis modos de entrenamiento, así como de una serie de opciones para monitorizar la salud. No obstante, al utilizar la aplicación móvil Gadgetbrige, la descripción del tipo de actividad se configuró en: caminar, sentado/de pie con actividad de manos normal o poca, sueño y movimiento durante el sueño. Se observa como durante las horas de rehabilitación existe una tendencia a considerar los ejercicios realizados como actividades en bipedestación a pesar de estar haciendo un entrenamiento de la marcha. Además, esta aplicación no dispone de la categoría "nadar" en contraposición a la aplicación Mi Fit. Este hecho hizo que, al procesar los datos, la actividad de Hidroterapia se registrara como una actividad en la que la persona estaba caminando o de pie con una actividad de manos normal. Por otro lado, puntualmente se identifica en aquellos participantes que realizaban una hora de entrenamiento para el manejo de la silla de ruedas como la pulsera registraba que la persona estaba subiendo escaleras. Se entiende que esta categorización se asocia con el desnivel detectado al subir o bajar la rampa de la que dispone el Institut Guttmann para esta actividad.

Este estudio, también tenía por objetivo determinar si existían diferencias en el nivel de actividad registrado por la banda fitness Xiaomi MiBand 4 durante la semana de tratamiento y el fin de semana. En los Gráficos 5-9 se observa como sí existe una diferencia tanto en el número

de pasos realizados como en el tipo de actividad registrada. Todos ellos reducen el cómputo total de pasos durante el fin de semana, así como también experimentan un aumento de horas en sedestación o de pie tras la rehabilitación y durante el fin de semana. Además, en estos gráficos se hace evidente la diferencia respecto a las horas destinadas al programa rehabilitador (5h/día) sobre el tiempo libre de los participantes.

Schneider y colaboradores (2018) observaron que, en etapas agudas e iniciales, no existen cambios significativos respecto al nivel de actividad entre semana y durante el fin de semana ya que los tratamientos son principalmente individuales. No obstante, los niveles de actividad física cambian a lo largo del proceso de rehabilitación debido a la recuperación neurológica, hecho que incrementa el programa de terapia semanal, viéndose disminuida la actividad en el fin de semana, periodo que ellos consideran que se destina a la recuperación. Los factores ambientales y las características de la persona (motivación, estado de salud general o dolor) también influyen positiva o negativamente al nivel de actividad y a la actitud de la persona respecto al tratamiento (Schneider et al., 2018).

Otro estudio muy similar es el de Brogioli et al. (2016) en el que se propusieron comparar la actividad de las EESS durante la terapia y el tiempo libre. En él, demostraron que todos los participantes tenían una actividad significativamente mayor durante la terapia, especialmente en aquellas personas con una lesión medular a nivel cervical. Consecuentemente, concluyeron que es posible lograr una mayor actividad de las EESS a partir del aumento de la intensidad de las terapias, así como ofreciendo mejores oportunidades para que las personas puedan incorporar actividades y deportes adaptados en su tiempo libre, promoviendo un estilo de vida más activo (Brogioli et al., 2016). Sin embargo, las recomendaciones actuales relacionadas con el uso de wearables no se pueden traducir fácilmente a la población con lesión medular ya que no se adaptan a sus necesidades individuales, especialmente para aquellas personas usuarias de silla de ruedas (Popp et al., 2019; Schneider et al., 2018).

Siguiendo con el tercer objetivo del estudio, en el Gráfico 10 se muestra cómo varía la frecuencia cardíaca durante el programa de rehabilitación, los periodos de reposo entre semana y en el fin de semana, así como durante el sueño. La diferencia más significativa es la relacionada con los valores registrados durante el sueño, con una disminución natural de la frecuencia cardíaca. No obstante, aunque no se observa un aumento característico durante la rehabilitación comparativamente con los periodos de reposo, si se analiza la frecuencia cardíaca en aquellas actividades más demandantes de esfuerzo físico (hidroterapia, fitness, cardio...), sí que se registra un leve incremento del valor respecto a la frecuencia cardíaca base.

Por último, en el Gráfico 11 se recogen las horas de sueño de los cuatro participantes, identificándose diferencias respecto a las registradas entre semana y durante el fin de semana. Además, la banda fitness Xiaomi MiBand 4 es capaz de diferenciar movimientos durante el sueño y, puntualmente, cuando la persona se encuentra en sueño profundo. Asimismo, cabe decir que los patrones de sueño de cada uno de ellos son totalmente diferentes, identificándose periodos de sueño después de comer y a partir de las cinco de la tarde, una vez finalizada la rehabilitación. Previamente a que se categorice la actividad como *sueño*, esta generalmente es precedida por una actividad de *sentado con poca actividad de manos*, reflejando una preparación para dormir relacionada con una disminución de actividad. Para futuras investigaciones sería interesante recopilar más información sobre la calidad percibida del descanso, así como desarrollar estudios relacionados con el incremento de horas de sueño tras una lesión medular, con el fin de dar

respuesta a si este hecho es consecuencia de una necesidad biológica o, por el contrario, es resultado de la falta de oferta y participación ocupacional.

### Limitaciones

Este estudio se ha realizado dentro del contexto del Trabajo Final de Máster, aprovechando el periodo de prácticas en el Institut Guttmann para reclutar a los participantes. Consecuentemente y dada la variabilidad de patologías que se tratan, la muestra se redujo a cuatro personas. Todos ellos utilizaron la banda fitness Xiaomi MiBand 4, la cual estaba vinculada a la aplicación móvil Gadgetbrige. No obstante, a pesar de que los participantes reflejaron en el cuestionario final que la información proporcionada era útil, solo tenían acceso a los valores que se mostraban en la pantalla de la pulsera, es decir, el número de pasos y la hora. Para futuros estudios, sería conveniente ofrecerles la posibilidad de descargarse esta aplicación o la propia del dispositivo estudiado, Mi Fit, para hacer un seguimiento de sus valores y recibir alertas de inactividad, beneficiosas para este perfil de personas que tienden a llevar una vida más sedentaria.

Además, si se comparan las dos aplicaciones móviles, existen diferencias entre ellas. Por un lado, tal y como se especifica en el Anexo 3, la pulsera es resistente al agua hasta 50 metros y es capaz de reconocer cinco estilos de natación diferente. Asimismo, a través de los datos obtenidos en la aplicación Gadgetbrige y la categorización del tipo de actividad, esta información no queda reflejada, considerando que la persona está de pie o caminando. Por otro lado, tampoco muestra las calorías quemadas o la distancia recorrida ya que no dispone de GPS. Sin embargo, sería interesante observar si vinculando la pulsera al teléfono móvil, el recuento de pasos de personas usuarias de silla de ruedas mejora gracias al cálculo de la distancia recorrida y el tipo de movimiento de las EESS para propulsar la silla.

En relación con el Registro de actividad semanal, sería beneficioso ofrecerles un pequeño listado de actividades a incluir ya que dos participantes no lo rellenaron y un tercero únicamente especificó *Tiempo libre* en aquellas horas fuera del programa de rehabilitación. Además, no se pudo incluir el cuestionario final de los profesionales ya que coincidieron periodos vacacionales de los terapeutas referentes, sin poder contestarlo. Por último, la falta de experiencia en la recogida y manejo de datos a nivel estadístico ha supuesto una limitación ya que este hecho se ha traducido en una mayor inversión de tiempo para procesar los valores registrados, clasificarlos y sacar las conclusiones relacionadas con los objetivos del estudio.

En suma, el uso de la banda fitness Xiaomi MiBand 4 permite la monitorización de la actividad diaria de personas con una lesión medular traumática incompleta y promueve la actividad física y un estilo de vida activo. No obstante, este perfil de personas suele ser usuaria de silla de ruedas, hecho que modifica los algoritmos del dispositivo y no registra adecuadamente el número de pasos realizados o la distancia recorrida. Actualmente, existen pulseras como el Apple Watch o la pulsera PushTracker que constan de opciones de accesibilidad para especificar que la persona se desplaza en silla de ruedas. El uso de wearables que se adaptaran a las necesidades de la persona permitiría complementar las puntuaciones obtenidas en escalas de valoración y dar información objetiva sobre el proceso de rehabilitación a los terapeutas. Por ello, es importante seguir la investigación en esta línea con el fin de generar nueva evidencia y determinar qué dispositivos son los más adecuados para estos objetivos, así como qué



actividades son las más recomendadas en base a las necesidades individuales. Además, futuros estudios deberían centrarse en la obtención de datos objetivos relacionados con el uso de las EESS y cómo la intensidad de las terapias influye en la recuperación funcional, permitiendo adaptar las sesiones de rehabilitación a las especificidades de cada persona.

## CONCLUSIÓN

La lesión medular se define como aquel proceso patológico en el que se produce una interrupción o alteración de las vías nerviosas, de forma parcial o completa, que comunican el cerebro con el resto del organismo, generando una alteración de la función motora, sensitiva y/o autónoma por debajo de la zona afectada (Bickenbach, Biering-Sorensen, et al., 2013; Institut Guttmann, 2019; Montoto Marqués et al., 2008; Pérez et al., 2011). Actualmente en España se producen cada año alrededor de 1.000 nuevas lesiones medulares que requieren hospitalización, siendo principalmente de etiología traumática (Pérez et al., 2011).

Las personas con una lesión medular se caracterizan por tener diferentes grados de afectación sensoriomotora que repercuten directamente en la realización de las actividades de la vida diaria (Schneider et al., 2019), así como en una disminución de la actividad física (Popp et al., 2019; Schneider et al., 2018) y un mayor riesgo de caídas en aquellas personas que pueden caminar (Lemay et al., 2020). Los programas rehabilitadores están destinados a una mejora de la funcionalidad, aunque no existe suficiente evidencia que avale estos resultados debido a la falta de evaluaciones objetivas (Schneider et al., 2018). Consecuentemente y con el fin de dar respuesta a esta necesidad, se ha incorporado el uso de sensores portátiles o wearables para monitorizar el tipo, cantidad y calidad de las actividades cotidianas, el uso de las EESS durante la terapia y durante su tiempo libre, así como las compensaciones relacionadas y el nivel de actividad física (Brogioli et al., 2016, 2017; Moncada-Torres et al., 2014; Popp et al., 2019).

Partiendo de esta contextualización, se planteó un estudio piloto en el que participaron 4 personas con lesión medular incompleta (AIS C o D), de etiología traumática, ingresadas en el Institut Guttmann y realizando entrenamiento de la marcha o con marcha autónoma. Cada uno de ellos llevó durante 7 días la banda fitness Xiaomi MiBand 4, siguiendo con su rutina diaria y programa de rehabilitación. Transcurrido este tiempo, se procesaron los datos registrados y se analizaron con el programa estadístico PSPP y Excel.

Se concluye que la banda fitness Xiaomi MiBand 4 es un dispositivo socialmente aceptado por los participantes con unas características que facilitan la objetivación de ciertos valores como la frecuencia cardíaca o las horas de sueño. Sin embargo, al tratarse de personas que se desplazan en silla de ruedas o con alguna ayuda técnica, el algoritmo se ve alterado a la hora de contabilizar los pasos realizados. Además, se identificó que, en aquellas actividades de mayor uso de la EESS de la pulsera, se anotaban pasos ficticios que modificaban el cómputo total de pasos diarios. Al mismo tiempo, la categorización de la actividad realizada es limitada, especialmente aquella relacionada con el uso de la EESS. Por ello, las futuras investigaciones tendrían que orientarse al estudio de otros dispositivos comerciales que se adapten mejor a las necesidades de las personas con una lesión medular con el fin de poder hacer un seguimiento más exhaustivo del proceso rehabilitador.

## BIBLIOGRAFÍA

- Augustine, G. J. (2016). Estudio del sistema nervioso. En D. Purves, G. J. Augustine, D. Fitzpatrick, W. C. Hall, A. LaMantia, & L. E. White (Eds.), *Neurociencia* (5ª Ed., pp. 1-24). Editorial Médica Panamericana.
- Bear, M., Connors, B., & Paradiso, M. (2016). Estructura del sistema nervioso. En M. Bear, B. Connors, & M. Paradiso (Eds.), *Neurociencia. La exploración del cerebro* (4ª Ed., pp. 179-262). Wolters Kluwer.
- Bickenbach, J., Biering-Sorensen, F., Knott, J., Shakespeare, T., Stucki, G., Tharion, G., & Wee, J. (2013). Understanding spinal cord injury. En World Health Organization & The International Spinal Cord Society (Eds.), *International Perspective on Spinal Cord Injury* (pp. 1-10).
- Bickenbach, J., Boldt, I., Brinkhof, M., Chamberlain, J., Cripps, R., Fitzharris, M., Lee, B., Marshall, R., Meier, S., Neukamp, M., New, P., Nicol, R., Officer, A., Perez, B., von Groote, P., & Wing, P. (2013). A global picture of spinal cord injury. En World Health Organization & The International Spinal Cord Society (Eds.), *International Perspectives on Spinal Cord Injury* (pp. 11-42).
- Brogioli, M., Popp, W. L., Schneider, S., Albisser, U., Brust, A. K., Frotzler, A., Gassert, R., Curt, A., & Starkey, M. L. (2017). Multi-Day Recordings of Wearable Sensors Are Valid and Sensitive Measures of Function and Independence in Human Spinal Cord Injury. *Journal of Neurotrauma*, 34(6), 1141-1148. <https://doi.org/10.1089/neu.2016.4583>
- Brogioli, M., Schneider, S., Popp, W. L., Albisser, U., Brust, A. K., Velstra, I. M., Gassert, R., Curt, A., & Starkey, M. L. (2016). Monitoring upper limb recovery after cervical spinal cord injury: Insights beyond assessment scores. *Frontiers in Neurology*, 7(AUG), 1-12. <https://doi.org/10.3389/fneur.2016.00142>
- Crossman, A. R., & Neary, D. (2020). Médula espinal. En A. R. Crossman & D. Neary (Eds.), *Neuroanatomía. Texto y atlas en color* (6ª Ed., pp. 68-88). Elsevier.
- Diamond, M. C., Scheibel, A. B., & Elson, L. M. (2019). El cerebro humano. Libro de trabajo. En M. C. Diamond, A. B. Scheibel, & L. M. Elson (Eds.), *El cerebro humano. Libro de trabajo* (6ª Ed.). Ariel.
- Dickman, J. D. (2014). Sistema vestibular. En D. E. Haines (Ed.), *Principios de neurociencia. Aplicaciones básicas y médicas* (4ª Ed., pp. 300-312). Elsevier.
- Fitzpatrick, D., & Mooney, R. D. (2016). Sensibilidad Y Procesamiento. En D. Purves, G. J. Augustine, D. Fitzpatrick, W. C. Hall, A. LaMantia, & L. E. White (Eds.), *Neurociencia* (5ª Ed., pp. 189-476). Editorial Médica Panamericana.
- Gardner, E. P., & Kandel, E. R. (2001). El sentido del tacto. En E. R. Kandel, J. H. Schwartz, & T. M. Jessell (Eds.), *Principios de neurociencia* (4ª Ed., pp. 451-471). McGraw-Hill - Interamericana.
- Ghez, C., & Krakauer, J. (2001). Organización del movimiento. En E. R. Kandel, J. H. Schwartz, & T. M. Jessell (Eds.), *Principios de neurociencia* (4ª Ed., pp. 653-673). McGraw-Hill - Interamericana.
- Gifre Monreal, M., Del Valle Gómez, A., Yuguero Rueda, M., Gil Origüen, A., & Monreal Bosch, P. (2010). La mejora de la calidad de vida de las personas con lesión medular: la transición del centro rehabilitador a la vida cotidiana desde la perspectiva de los usuarios. *Athenea Digital*, 0(18), 15. <https://doi.org/10.5565/rev/athenead/v0n18.708>
- Gutiérrez González, R., Moreno Gutiérrez, Á., & Rodríguez Boto, G. (2009). Biomecánica y

- mecanismos fisiopatológicos del traumatismo raquímedular. En G. Boto & J. Vaquero (Eds.), *Traumatismo raquímedular* (pp. 17-46). Ediciones Díaz de Santos. <https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=3wZGQeFzVKEC&oi=fnd&pg=PR7&dq=mecanismos+lesionales+lesion+medular&ots=4XlsKnL9hE&sig=HRnUoN8YnjvWTvUAsZ9NmFLng-s#v=onepage&q=mecanismos+lesionales+lesion+medular&f=false>
- Guyton, A. C., & Hall, J. E. (2016a). Contribuciones del cerebelo y los ganglios basales al control motor global. En J. E. Hall (Ed.), *Tratado de fisiología médica* (13ª Ed., pp. 721-736). Elsevier.
- Guyton, A. C., & Hall, J. E. (2016b). El sistema nervioso: A. Principios generales y fisiología de la sensibilidad. En J. E. Hall (Ed.), *Guyton y Hall. Tratado de fisiología médica* (13ª Ed., pp. 577-634). Elsevier.
- Henao-Lema, C. P., & Pérez-Parra, J. E. (2010). Lesiones medulares y discapacidad: revisión bibliográfica. *AQUICHAN*, 10(2), 157-172. <http://www.scielo.org.co/pdf/aqui/v10n2/v10n2a06.pdf>
- Institut Guttmann. (2019, agosto 16). *Lesión medular*. <https://www.guttmann.com/es/treatment/lesion-medular>
- Kandel, E. (2001). Neurobiología de la conducta. Cerebro y conducta. En E. Kandel, J. Schwartz, & T. Jessell (Eds.), *Principios de neurociencia* (4ª Ed., pp. 5-18). McGraw-Hill - Interamericana.
- Lemay, J. F., Noamani, A., Unger, J., Houston, D. J., Rouhani, H., & Musselmann, K. E. (2020). Using wearable sensors to characterize gait after spinal cord injury: evaluation of test-retest reliability and construct validity. *Spinal Cord*, 1-9. <https://doi.org/10.1038/s41393-020-00559-4>
- Ma, T. P. (2014). Núcleos basales. En D. E. Haines (Ed.), *Principios de neurociencia. Aplicaciones básicas y clínicas* (4ª Ed., pp. 354-369). Elsevier.
- May, P. J., & Corbett, J. J. (2014). Sistemas visuomotores. En D. E. Haines (Ed.), *Principios de neurociencias. Aplicaciones básicas y clínicas* (4ª Ed., pp. 389-404). Elsevier.
- Méndez Méndez, B., & Bové Porta, P. (2003). Un caso clínico de lesión medular. En B. Polonio López (Ed.), *Terapia Ocupacional en discapacitados físicos: teoría y práctica* (pp. 115-undefined). Médica Panamericana.
- Mi Smart Band 4 / Xiaomi España. (s. f.). Recuperado 22 de mayo de 2021, de <https://www.mi.com/es/mi-smart-band-4/>
- Mihailoff, G. A., & Haines, D. E. (2014). Sistema motor I: Influencia sensitiva periférica, del tronco del encéfalo y de la médula en las neuronas del asta anterior. En D. E. Haines (Ed.), *Principios de neurociencia. Aplicaciones básicas y clínicas* (4ª Ed., pp. 324-337). Elsevier.
- Moncada-Torres, A., Leuenberger, K., Gonzenbach, R., Luft, A., & Gassert, R. (2014). Activity classification based on inertial and barometric pressure sensors at different anatomical locations. *Physiol. Meas*, 35, 1245-1263. <https://doi.org/10.1088/0967-3334/35/7/1245>
- Montoto Marqués, A., Ferreiro Velasco, M. E., & Rodríguez Sotillo, A. (2008). Lesión medular. En I. Sánchez, A. Ferrero, J. J. Aguilar, J. M. Climent, J. A. Conejero, M. T. Flórez, A. Peña, & R. Zambudio (Eds.), *Manual SERMEF de rehabilitación y medicina física* (1ª Ed., pp. 505-520). Médica Panamericana.
- NSCISC. (2020). *Facts and Figures at a Glance*. [www.msktc.org/sci/model-system-centers](http://www.msktc.org/sci/model-system-centers).
- OMS, O. M. de la S. (2001). *Clasificación Internacional del Funcionamiento, de la Discapacidad y de la Salud*. Versión abreviada. [https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/43360/9241545445\\_spa.pdf?sequence=1](https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/43360/9241545445_spa.pdf?sequence=1)

e=1&isAllowed=y

- Pearson, K., & Gordon, J. (2001). Locomoción. En E. R. Kandel, J. H. Schwartz, & T. M. Jessell (Eds.), *Principios de neurociencia* (4ª Ed., pp. 737-755). McGraw-Hill - Interamericana.
- Pérez, C., Novoa, A., Ferrando, J., Santamariña, E., García-Altés, A., & Seguí-Gómez, M. (2011). *Lesiones Medulares Traumáticas y Traumatismos Craneoencefálicos en España*. www.mspsi.es
- Popp, W. L., Schneider, S., Bär, J., Bösch, P., Spengler, C. M., Gassert, R., & Curt, A. (2019). Wearable Sensors in Ambulatory Individuals With a Spinal Cord Injury: From Energy Expenditure Estimation to Activity Recommendations. *Frontiers in Neurology*, 10(1092), 1-18. <https://doi.org/10.3389/fneur.2019.01092>
- Redolar, D. (2015). Introducción a la organización del sistema nervioso. En D. Redolar (Ed.), *Neurociencia cognitiva* (1ª Ed., pp. 67-110). Editorial Médica Panamericana.
- Schneider, S., Popp, W. L., Brogioli, M., Albisser, U., Demkó, L., Debecker, I., Velstra, I.-M., Gassert, R., & Curt, A. (2018). Reliability of Wearable-Sensor-Derived Measures of Physical Activity in Wheelchair-Dependent Spinal Cord Injured Patients. *Frontiers in Neurology*, 9, 1-13. <https://doi.org/10.3389/fneur.2018.01039>
- Schneider, S., Popp, W. L., Zurich, E., Brogioli, M., Albisser, U., Ortmann, S., Velstra, I.-M., Demkó, L., Gassert, R., & Curt, A. (2019). Predicting upper limb compensation during prehension tasks in tetraplegic spinal cord injured patients using a single wearable sensor. *International Conference on Rehabilitation Robotics (ICORR)*, 1000-1008. <https://doi.org/10.1109/ICORR.2019.8779561>
- Snell, R. S. (2001). Médula Espinal y Tractos Ascendentes y Descendentes. En R. S. Snell (Ed.), *Neuroanatomía Clínica* (5ª Ed., pp. 137-188). Editorial Médica Panamericana.
- Strassburguer, K., Hernández, Y., & Barquín, E. (2013). *Lesión Medular: Guía para el manejo integral del paciente con lesión medular crónica*. www.aspaymmadrid.org
- Warren, S., Capra, N. F., & Yezierski, R. P. (2014). Sistema somatosensitivo I: tacto discriminativo y sensibilidad postural. En D. E. Haines (Ed.), *Principios de neurociencia. Aplicaciones básicas y clínicas* (4ª Ed., pp. 226-240). Elsevire.
- White, L. E., & Hall, W. C. (2016). El movimiento y su control central. En D. Purves, G. J. Augustine, D. Fitzpatrick, W. C. Hall, A.-S. LaMantia, & L. E. White (Eds.), *Neurociencia* (5ª Ed., pp. 353-476). Editorial Médica Panamericana.
- Wurtz, R. H., & Kandel, E. R. (2001). Vías visuales centrales. En E. R. Kandel, J. H. Schwartz, & T. M. Jessell (Eds.), *Principios de neurociencia* (4ª Ed., pp. 523-547). McGraw-Hill - Interamericana.

## ANEXOS

## 1. American Impairment Scale (AIS)

Grado A = completa: Ausencia de función motora y sensitiva que se extiende hasta los segmentos sacros S4-S5.

Grado B = incompleta: Preservación de la función sensitiva por debajo del nivel neurológico de la lesión, que se extiende hasta los segmentos S4-S5 y con ausencia de función motora.

Grado C = incompleta: Preservación de la función motora por debajo del nivel neurológico y más de la mitad de los músculos por debajo del nivel neurológico tienen un balance muscular menor de 3.

Grado D = incompleta: Preservación de la función motora por debajo del nivel neurológico y más de la mitad de los músculos por debajo del nivel neurológico tienen un balance muscular menor de 3 o más.

Grado E = normal: Las funciones sensitiva y motora son normales.

**ASIA** NORMAS INTERNACIONALES PARA LA CLASIFICACIÓN NEUROLÓGICA DE LESIÓN DE LA MÉDULA ESPINAL (ISNCSCI) **ISNCSCI**

Nombre del Paciente \_\_\_\_\_ Fecha/Hora del Examen \_\_\_\_\_  
Nombre Examinador \_\_\_\_\_ Firma \_\_\_\_\_

**DERECHO** **MOTOR** **SENSITIVO** **SENSITIVO** **MOTOR** **IZQUIERDO**  
MÚSCULOS CLAVE PUNTOS SENSITIVOS CLAVE Tacto Fino (TFD) Pinchazo (PPD) PUNTOS SENSITIVOS CLAVE Tacto Fino (TFI) Pinchazo (PPI) MÚSCULOS CLAVE

**ESD** (Extremidad Superior Derecha)  
Flexores del codo C5  
Extensores de muñeca C6  
Extensores de codo C7  
Flexores de los dedos de la mano C8  
Abductores del dedo meñique T1

**EID** (Extremidad Inferior Derecha)  
Flexores de cadera L2  
Extensores de rodilla L3  
Dorsiflexores de tobillo L4  
Extensores del dedo gordo del pie L5  
Plantiflexores de Tobillo S1

(CAV) Contracción Anal Voluntaria (Si/No) ☐

**TOTALES DERECHA (MAXIMO)**  
S2 (50) S3 (56) S4-5 (56)

**PARCIALES MOTORES**  
ESD ☐ + ESI ☐ = RMES TOTAL ☐ EID ☐ + EII ☐ = RMEI TOTAL ☐  
MAX(25) (25) (50) MAX(25) (25) (50)

**PARCIALES SENSITIVOS**  
TFD ☐ + TFI ☐ = TF TOTAL ☐ PPD ☐ + PPI ☐ = PP TOTAL ☐  
MAX(56) (56) (112) MAX(56) (56) (112)

**NIVELES NEUROLÓGICOS**  
Pasos 1-6 para clasificación como en el reverso

**3. NIVEL NEUROLÓGICO DE LA LESIÓN (NLI)** ☐

**4. COMPLETA O INCOMPLETA?** ☐  
Incompleta = Cualquier función motora o sensitiva en S4-S5

**5. ESCALA DEFICIENCIA DE ASIA (AIS)** ☐

**6. ZONA DE PRESERVACIÓN PARCIAL** ☐  
Niveles más caudales con alguna inervación

**ESD** ☐ **EII** ☐ **SENSITIVO** ☐ **MOTOR** ☐

Este formulario puede ser copiado libremente pero no puede ser alterado sin permiso de la American Spinal Injury Association. REV 04/19

Ilustración 6. ISNCSCI WORKSHEET

## 2. Lesión medular incompleta – Síndromes medulares

La literatura define diferentes síndromes clínicos en las lesiones medulares incompletas que se presentan con cuadros característicos. Se distinguen el síndrome centromedular, síndrome de Brown-Séquard, síndrome medular anterior, síndrome medular posterior, síndrome del cono medular y cola de caballo.

- **Síndrome centromedular:** Se trata de uno de los síndromes más comunes en la lesión medular. Si la lesión es pequeña, existe una pérdida de la sensibilidad al dolor y a la temperatura en el nivel de lesión, mientras que las lesiones más extensas afectan además a la función motriz de los miembros superiores, debido a la localización medial de las motoneuronas que inervan el miembro superior en los tractos corticoespinales laterales. Se da a menudo en personas de edad avanzada con cambios degenerativos que sufren un mecanismo de hiperextensión. En general es de buen pronóstico, siendo la edad uno de los factores más influyentes en el grado de recuperación (Montoto Marqués et al., 2008; Strassburguer et al., 2013).

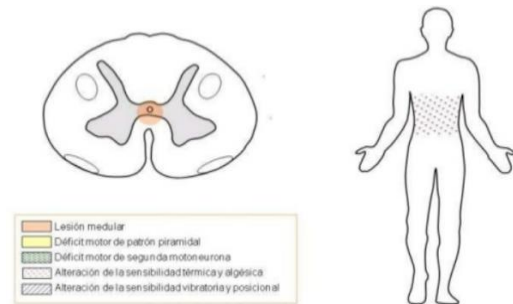


Ilustración 7. Síndrome del cordón central

- **Síndrome de Brown-Séquard:** Este síndrome resulta de la hemisección de la médula y se caracteriza por la pérdida de la función motriz ipsilateral, pérdida de la sensibilidad propioceptiva y discriminativa de los dermatomas ipsilaterales y pérdida de la sensibilidad a la temperatura y dolor del lado contralateral por debajo del nivel medular. Tiene buen pronóstico, el 75-90% de las personas recuperan la marcha (Montoto Marqués et al., 2008; Strassburguer et al., 2013).

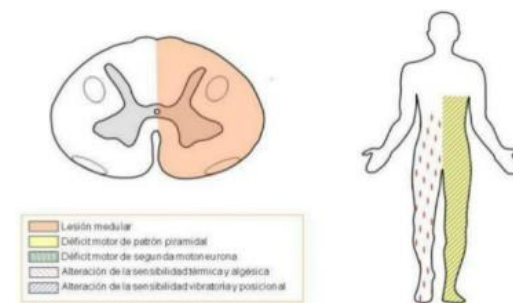


Ilustración 8. Síndrome de Brown-Séquard

- **Síndrome medular anterior:** Interrupción de los tractos espinotalámicos ascendentes y algunos de los tractos motores descendentes, además del posible daño ocasionado al soma de las motoneuronas inferiores. El cuadro clínico se caracteriza por la pérdida de la función motriz y de la sensibilidad al dolor y a la temperatura por debajo del nivel de lesión, conservándose la propiocepción y el tacto discriminativo, cuyas vías se localizan en la parte posterior de la médula. Puede darse por lesión directa de la parte anterior de la médula por retropulsión de un fragmento óseo o discal o bien por lesiones de la arteria espinal anterior (Montoto Marqués et al., 2008; Strassburguer et al., 2013).

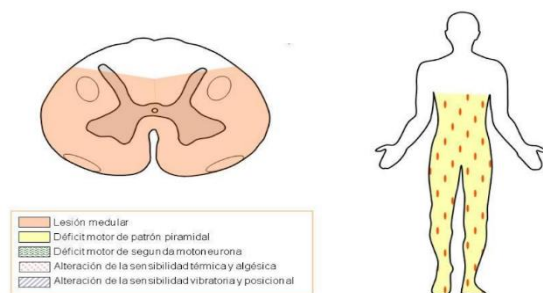
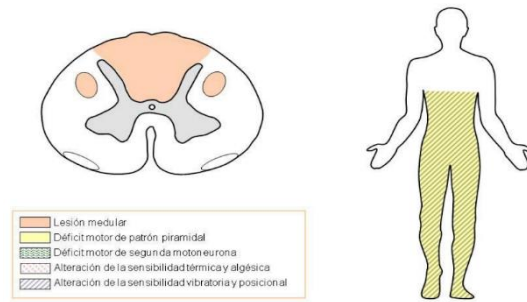


Ilustración 9. Síndrome del cordón anterior



- **Síndrome medular posterior:** Resulta muy poco frecuente y se produce ante la afectación de los cordones posteriores. El cuadro clínico muestra la pérdida bilateral de sensibilidad propioceptiva por debajo del nivel de lesión, conservando la función motriz y la sensibilidad termoalgésica (Montoto Marqués et al., 2008; Strassburguer et al., 2013).



*Ilustración 10. Síndrome del cordón posterior*

- **Síndrome del cono medular:** Consiste en la lesión de los segmentos sacros medulares (entre S1 y S4). Produce una arreflexia de vejiga, intestino y miembros inferiores. En la exploración clínica se aprecia una alteración del esfínter anal, del reflejo rectal, de la erección y disfunción vesical (Montoto Marqués et al., 2008; Strassburguer et al., 2013).

- **Síndrome de cola de caballo:** Este síndrome indica daño en las raíces lumbares o sacras por debajo del cono medular. El grado de afectación de las distintas raíces es muy variable, aunque en la mayoría de los casos existe la misma sintomatología que en el síndrome del cono medular, con alteración de la sensibilidad, paresia flácida de los músculos del miembro inferior o parálisis vesical e intestinal. Gracias al nivel de afectación vertebral es posible realizar un correcto diagnóstico ya que muchas veces resulta complejo diferenciarlo de la lesión del cono medular (Montoto Marqués et al., 2008; Strassburguer et al., 2013).

## 3. Especificaciones Xiaomi MiBand 4

<b>Peso</b>	22,1g
<b>Clasificación de resistencia al agua</b>	5 ATM
<b>Tipo de pantalla</b>	AMOLED
<b>Tamaño de la pantalla</b>	0.95"
<b>Resolución</b>	120 x 240 RGB
<b>Profundidad de color</b>	24 bit
<b>Brillo de la pantalla</b>	Hasta 400 nits (brillo máximo), brillo ajustable
<b>Tipo de pantalla táctil</b>	Pantalla táctil capacitiva en la célula
<b>Botón</b>	Botón táctil simple (despertar, volver atrás)
<b>Tipo de correa de muñeca</b>	Correa extraíble
<b>Anchura de la pulsera</b>	18mm
<b>Material de la correa de muñeca</b>	Poliuretano termoplástico
<b>Longitud ajustable de la correa de muñeca</b>	155-216mm
<b>Memoria</b>	512KB
<b>ROM</b>	16MB
<b>Sensores</b>	Acelerómetro de 3 ejes + giroscopio de 3 ejes; sensor de frecuencia cardíaca PPG; sensor de proximidad capacitivo
<b>Conectividad inalámbrica</b>	BT5.0 BLE
<b>Batería</b>	LiPo, 135mAh
<b>Tipo de carga</b>	≤ 2 horas
<b>Tiempo de espera</b>	Hasta 20 días
<b>Tipo de motor</b>	Rotor



<b>Material del cuerpo</b>	Policarbonato
<b>Aplicación</b>	Mi Fit
<b>Requisitos del sistema</b>	Android 4.4, iOS 9.0 o superior
<b>Funciones Deportivas</b>	6 modos de entrenamiento: Cinta para correr, ejercicio, correr al aire libre, montar en bicicleta, caminar, nadar en la piscina; contar los pasos, la distancia y las calorías quemadas.
<b>Monitoreo de la salud</b>	Notificaciones de finalización del entrenamiento, establecimiento de metas, monitoreo del sueño, monitoreo de la frecuencia cardiaca, revisión de la frecuencia cardiaca durante todo el día, frecuencia cardiaca en reposo, tabla de frecuencia cardiaca y alertas de inactividad.
<b>Otras características</b>	Alarma, sensor de proximidad, esfera del reloj preestablecida, esfera del reloj personalizable, pantalla de bloqueo, temporizador, cronómetro, alarma y notificaciones telefónicas, llamadas entrantes, notificaciones de mensajes, notificaciones de calendario, notificaciones de aplicaciones, pronóstico del tiempo, buscar mi teléfono, desbloquear el teléfono, notificación de eventos, modo nocturno, modo No molestar (funciona incluso sin teléfono), controles de música, transmisión por Bluetooth, visualización del nivel de la batería, diferentes formas de llevarla y actualizaciones de OTA.

## 4. ATTRACT - 3D kinematics for remote patient monitoring (RPM3D)

### 4.1 Hoja informativa

NIP: \_\_\_\_\_

## ATTRACT - 3D kinematics for remote patient monitoring (RPM3D)

**Investigador Principal: Eloy Opisso**

Investigadores: Cristina Martín

Raquel Lezcano

Ignasi Soriano

Josep Medina

### DOCUMENTO DE INFORMACIÓN PARA EL PARTICIPANTE

#### LO QUE USTED DEBE SABER

---

##### EN QUÉ CONSISTE:

En este estudio estamos estudiando a personas que han sufrido una lesión medular, un daño cerebral adquirido o alguna otra enfermedad de origen neurológico. El proyecto en el que usted va a participar pretende optimizar el proceso rehabilitador mediante el desarrollo de una nueva generación de dispositivos vestibles y fáciles de llevar que monitoricen el movimiento del paciente, durante la rehabilitación y su día a día. En concreto, en este proyecto estamos estudiando el movimiento en general y de brazos y manos en particular de personas que tienen algún problema de funcionalidad.

En el estudio se pueden realizar diferentes pruebas: ejecutar las distintas tareas propuestas en cada estudio de usabilidad, realizar escalas de valoración y cumplimentar cuestionarios de opinión y usabilidad sobre los dispositivos testados.

Su participación en este estudio es totalmente voluntaria. Si usted decide participar les solicitaremos que firme un documento de consentimiento informado, expresando su deseo de participar. Es muy importante que usted sepa que puede negarse a participar o retirar su consentimiento en cualquier momento posterior a la firma, sin tener que explicar los motivos y sin que esto repercuta de ninguna manera en la asistencia médica que recibe o pueda recibir en un futuro.

Para llevar a cabo los objetivos del proyecto es posible que necesitemos grabar las sesiones en video. En ese caso, le pediremos autorización expresa para el registro de las imágenes y seguiremos todos los requisitos previstos en la legislación vigente, sobre protección de datos de carácter personal.

Este estudio ha sido evaluado por el **Comité de Investigación e Innovación** del Instituto Guttmann, que ha valorado los beneficios esperados en relación con los riesgos previsibles y la adecuación de la propuesta al Código Ético de la Institución. Así mismo, este documento ha sido evaluado por el **Comité de Ética Asistencial** del Instituto Guttmann, que ha aprobado la adecuación de la información que contiene.

---

#### PARA QUÉ SIRVE:

El objetivo del estudio es estudiar la usabilidad y la viabilidad de los dispositivos con el fin de mejorar su aplicación clínica

---

#### CÓMO SE REALIZA:

En el proyecto estamos desarrollando distintos dispositivos. Siempre que encaje en los criterios de inclusión, usted puede elegir si quiere probar uno o todos los dispositivos.

Los participantes realizarán las pruebas de usabilidad y viabilidad, es decir, testarán dispositivos generalmente puestos en la muñeca y posteriormente responderán a un cuestionario de satisfacción. Los dispositivos que testarán son:

- **Banda de fitness**: Dispositivo que medirá movimiento del brazo, frecuencia cardíaca y marcha del paciente.
- **Reloj inteligente**: Dispositivo que medirá puestos en ambos brazos, movimiento de las extremidades superiores.
- **Aplicación de móvil**: Aplicación que será instalada en una Tablet del centro.

En todos los casos, en la medida de lo posible se realizará un cuestionario de usabilidad.

---

#### QUÉ EFECTOS LE PRODUCIRÁ:

La participación en este estudio no necesariamente le proporcionará una mejoría en su salud directamente, aunque el desarrollo de estos nuevos dispositivos puede ayudar en el futuro a la rehabilitación y en las actividades de la vida diaria a personas con lesiones similares a la suya, o incluso a usted mismo.

---

#### EN QUÉ LE BENEFICIARÁ:

Dependiendo del dispositivo que pruebe, por ejemplo, si prueba con los relojes inteligentes:

Si usted tiene un miembro con problemas de movimiento y acepta participar en este estudio, podría beneficiarse de utilizar más ambas extremidades, aunque esto no se lo podemos garantizar.

Los resultados de este proyecto podrían, así mismo, beneficiar a otras personas con los mismos problemas que usted.

---

#### OTRAS ALTERNATIVAS DISPONIBLES EN SU CASO:

No existen, que nosotros conozcamos, actualmente otros dispositivos para la monitorización de la rehabilitación como los que se quieren desarrollar en este proyecto en el mercado.

---

#### QUÉ RIESGOS TIENE:

- Aunque esta prueba/s no tiene/n consecuencias negativas que nosotros conozcamos, sí que podemos anticipar algún riesgo. En cualquier caso, nosotros le aplicaremos las pautas que hemos desarrollado, que minimizan los riesgos. De todas formas, se los detallamos a continuación para que los conozca:
  - Riesgo 1: Alergia en la piel: En las zonas donde se ubica la banda de fitness.
  - Riesgo 2: Enrojecimiento de la piel. En las zonas donde se ubica la banda por apriete excesivo del mismo.
  
- EN CASO DE QUE APAREZCAN, APLICARÍAMOS LAS SIGUIENTES MEDIDAS PARA CADA UNO DE LOS MISMOS:
  - Riesgo 1: Alergia en la piel: en caso de producirse una reacción alérgica, aplicaremos el protocolo adecuado para resolverla. La valoración será realizada por un médico del centro.
  - Riesgo 2: Enrojecimiento de la piel: en caso de producirse, se parará inmediatamente la prueba, si es posible se recolocará correctamente el brazalete, sino se interrumpirá el estudio. En cualquier caso personal médico del centro valorará el problema, para decidir si hay que aplicar algún otro protocolo.

---

#### SITUACIONES ESPECIALES QUE DEBEN SER TENIDAS EN CUENTA:

Los pacientes que no puedan ofrecer su consentimiento de forma escrita deberán autorizar a un familiar de primer grado para firmar el consentimiento. En caso de que ningún familiar esté cerca, se puede otorgar el consentimiento mediante huella dactilar.

---

#### OTRAS INFORMACIONES DE INTERÉS (a considerar por el/la profesional):

Si lo desea, puede solicitar más información sobre el proyecto a los investigadores del Institut Guttmann.

**INFORMACIÓN PARA EL TRATAMIENTO DE DATOS DE CARÁCTER PERSONAL**

En virtud de lo que dispone el **Reglamento General de Protección de Datos (UE) 2016/679 del Parlamento Europeo (RGPD)**, la Fundación Institut Guttmann pone en su conocimiento que el hecho de firmar el presente documento implica el conocimiento y aceptación por su parte de que la entidad dispone de un fichero con datos de carácter personal denominado *FICHERO DE INVESTIGACIÓN*.

La finalidad de su creación es la de gestionar los datos necesarios para la investigación que lleva a cabo la Fundación Institut Guttmann, garantizando el registro y seguimiento de la prestación asistencial que requerirán los usuarios durante el estudio, y obtener información para cumplimentar la Historia Clínica de los usuarios.

Los destinatarios de la información son todos los departamentos en que se organiza la Fundación Institut Guttmann, así como los estamentos oficiales públicos o privados que, por obligación legal o necesidad material, tengan que acceder a los datos a los efectos del correcto desarrollo del proyecto de investigación, de acuerdo con las buenas prácticas científicas.

La Fundación Institut Guttmann es responsable del tratamiento de sus datos y se compromete a cumplir con la normativa de protección de datos en vigor. Los datos recogidos para el estudio estarán identificados mediante un código, de manera que no se incluya información que pueda identificarle, y sólo el investigador y los colaboradores podrán relacionar estos datos con usted y con su historia clínica. Por tanto, su identidad no será revelada a ninguna otra persona excepto a las autoridades sanitarias, cuando así lo requieran o en casos de urgencia médica. Los Comités de Ética de la Investigación, los representantes de la autoridad sanitaria en materia de inspección y el personal investigador autorizado, únicamente podrán acceder para comprobar sus datos personales, los procedimientos del estudio y el cumplimiento de las normas de buena práctica (siempre manteniendo la confidencialidad de la información).

En todo caso, tiene derecho a ejercitar los derechos de oposición, acceso, rectificación y cancelación en el ámbito reconocido por el RGPD. También puede limitar el tratamiento de datos que sean incorrectos, solicitar una copia o que se trasladen a un tercero (portabilidad) los datos que usted ha facilitado para el estudio.

El investigador está obligado a conservar los datos recogidos para el estudio como mínimo hasta 25 años después de su finalización. Posteriormente, su información personal sólo se conservará por el centro para el cuidado de su salud y para otros fines de investigación científica si usted hubiera otorgado su consentimiento para ello, y si así lo permite la ley y los requisitos éticos aplicables.

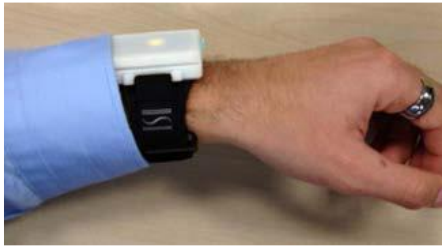
Si hiciésemos transferencia de sus datos codificados fuera de la UE a las entidades de nuestro grupo, a prestadores de servicios o investigadores científicos que colaboran con nosotros, los datos del participante quedarán protegidos con salvaguardas como contratos u otros mecanismos por las autoridades de protección de datos. Si el participante quiere saber más sobre este tema, puede contactar al Delegado de Protección de Datos.

Le recordamos que los datos no se pueden eliminar, aunque deje de participar en el estudio, para garantizar la validez de la investigación y cumplir con los deberes legales y los requisitos de autorización de medicamentos. Así mismo, tiene derecho a dirigirse a la Agencia de Protección de Datos si no quedara satisfecho.

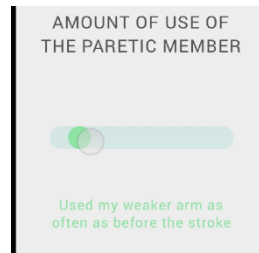
Para ejercitar sus derechos, o si le surge cualquier duda o pregunta sobre el estudio, estamos siempre a su disposición y puede ponerse en contacto directamente con el Investigador Principal, el Dr. Eloy Opisso, en el teléfono 93.497.77.00 o en el correo electrónico [eopisso@guttmann.com](mailto:eopisso@guttmann.com); o con el Delegado de Protección de Datos del Institut Guttmann, en el correo electrónico [protecciodedades@guttmann.com](mailto:protecciodedades@guttmann.com).

---

#### IMÁGENES EXPLICATIVAS:



Ejemplo dispositivo reloj inteligente



Ejemplo APP para el caso



Ejemplo de la banda de fitness

## 4.2 Consentimiento informado

NIP: \_\_\_\_\_

# ATTRACT - 3D kinematics for remote patient monitoring (RPM3D)

**Investigador Principal: Eloy Opisso**

Investigadores: Cristina Martín

Raquel Lezcano

Ignasi Soriano

Josep Medina

Este documento sirve para que usted, o quien lo represente, dé su consentimiento para participar en este estudio. Esto significa que nos autoriza a realizar esta intervención.

Usted puede retirar este consentimiento cuando lo desee. Firmarlo no le obliga a participar en el estudio. De su rechazo no se derivará ninguna consecuencia adversa respecto a la calidad del resto de la atención médica recibida. Antes de firmar, es importante que haya leído atentamente la información contenida en la **hoja informativa** del estudio, que ha recibido junto a este consentimiento.

Si tiene alguna duda o necesita más información no dude en decírnoslo, le atenderemos con mucho gusto.

### **Consentimiento informado:**

(En el caso de **incapacidad o presunta incapacidad y/o minoría de edad** del/de la paciente será necesario el consentimiento de su representante o tutor/a)

### **DATOS DEL PACIENTE Y DE SU REPRESENTANTE O TUTOR/A (en caso de ser necesario)**

Apellidos y nombre del/de la paciente:

D.N.I.:

Apellidos y nombre del/de la representante o tutor/a del paciente:

D.N.I.:

**PROFESIONAL QUE INTERVIENE EN EL PROCESO DE INFORMACIÓN Y/O CONSENTIMIENTO:**

Apellidos y nombre:

Firma:

Fecha:

**Consentimiento:**

Yo, D./Dña. \_\_\_\_\_, manifiesto que estoy conforme con el estudio que se me ha propuesto. He leído y comprendido la información contenida en la **hoja informativa** que se me ha proporcionado. He podido preguntar y aclarar todas mis dudas. Por eso he tomado conscientemente y libremente la decisión de participar. También sé que puedo retirar mi consentimiento cuando lo estime oportuno.

En Badalona, el \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_

El/La PACIENTE

Consentimiento/visto bueno del/la  
REPRESENTANTE o TUTOR/A

Fdo:

Fdo:

**Revocación del consentimiento:**

Yo, D./Dña \_\_\_\_\_, de forma consciente y libre he decidido retirar mi consentimiento a participar en este estudio.

En Badalona, el \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_

El/La PACIENTE

Consentimiento/visto bueno del/la  
REPRESENTANTE o TUTOR/A

Fdo:

Fdo:



#### 4.3 Cuestionario sobre el consentimiento informado

## ATTRACT - 3D kinematics for remote patient monitoring (RPM3D)

**Investigador Principal: Eloy Opisso**

Investigadores: Cristina Martín

Raquel Lezcano

Ignasi Soriano

Josep Medina

### CUESTIONARIO SOBRE EL CONSENTIMIENTO INFORMADO

1. ¿Entiende que va a someterse a un estudio de investigación que ayudará a conocer nuevos dispositivos que ayudarán en la rehabilitación de pacientes con enfermedades de origen neurológico?

Sí ☐ No ☐

2. ¿Entiende que, aunque los procedimientos se realizan siguiendo todas las recomendaciones y las normas de seguridad conocidas, no están exentos de riesgos?

Sí ☐ No ☐

3. ¿Entiende que participando en este estudio no necesariamente obtendrá una mejoría de sus problemas, pero que la información que se obtenga quizá pueda ayudar a entender mejor su enfermedad y ayudar de este modo a usted y a otras personas?

Sí ☐ No ☐

4. ¿Entiende que el estudio en el que participa no modifica la posibilidad de recibir ningún otro tipo de tratamiento que usted necesite?

Sí ☐ No ☐

5. ¿Entiende que nos comprometemos a que toda la información relacionada con su persona se archivará y procesará de manera que en ningún momento quede comprometida su intimidad?

Sí ☐ No ☐

6. ¿Ha entendido todas las posibles complicaciones que pueden relacionarse con el estudio?  
¿Ha entendido en qué manera se le prestará atención y ayuda en el caso de que aparezcan?

Sí ☐ No ☐

7. ¿Cree que si no participa en el estudio esto afectará de alguna manera a la atención clínica o al tratamiento que recibe en nuestro Hospital?

Sí ☐ No ☐

8. ¿Sabe a quién tiene que contactar en caso de necesitar más información sobre cualquier aspecto relacionado con el estudio, o en caso de que tenga cualquier duda a lo largo de su participación en el mismo?

Sí ☐ No ☐

9. ¿Entiende que en cualquier momento y por cualquier razón puede decidir no seguir en el estudio?

Sí ☐ No ☐

Número identificación Participante:

Nombre:

Firma:

Fecha: \_\_/\_\_\_\_/\_\_

Investigador principal:

Nombre:

Firma:

Fecha: \_\_/\_\_\_\_/\_\_

Importante: Este documento contiene información confidencial y debe ser custodiado en el archivo de investigación, junto a la información relativa al participante
--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

## 5. Registro de actividad semanal

Registro de actividad semanal - PARTICIPANTE 4

	LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES	SÁBADO	DOMINGO
7.00 – 8.00h							
8.00 – 9.00h							
9.00 – 10.00h							
10.00 – 11.00h		HIDROTERAPIA		RELAXACIÓN	HIDROTERAPIA	E-BIKE	
11.00 – 12.00h	CARDIO (pesas)	LOKOMAT	CARDIO (bicicleta estática)	LOKOMAT	CARDIO (Deporte outdoor)		
12.00 – 13.00h	VACUNA			PSICÓLOGA	Rugby/basket.		
13.00 – 14.00h	CDR	CDR	CDR	CDR	CDR		
14.00 – 15.00h							
15.00 – 16.00h	EF	EF	EF	EF	EF	CURSO	
16.00 – 17.00h						CURSO	
17.00 – 18.00h			SILLA			CURSO	
18.00 – 19.00h						CURSO	
19.00 – 20.00h	CENA	CENA	=	=	=	=	SILLA =
20.00 – 21.00h							SILLA
21.00 – 22.00h							
22.00 – 23.00h							
23.00 – 24.00h							

*Natación estática* (arrows pointing to Wednesday and Saturday)

## Registro de actividad semanal - PARTICIPANTE 2

	LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES	SÁBADO	DOMINGO
7.00 – 8.00h							DESCANSO
8.00 – 9.00h							
9.00 – 10.00h							
10.00 – 11.00h		HIDROTERAPIA		HIDROTERAPIA		CARDIO	
11.00 – 12.00h	FITNESS	FITNESS	FITNESS	FITNESS	FITNESS	TIEMPO LIBRE	
12.00 – 13.00h	EXO - ABLE		EXO - ABLE		EXO - ABLE		
13.00 – 14.00h	FISIO AREA		FISIO AREA				
14.00 – 15.00h							
15.00 – 16.00h	EF	EF	EF	EF	EF		
16.00 – 17.00h							
17.00 – 18.00h	TIEMPO LIBRE	TIEMPO LIBRE	TIEMPO LIBRE	TIEMPO LIBRE	TIEMPO LIBRE		
18.00 – 19.00h							
19.00 – 20.00h							
20.00 – 21.00h							
21.00 – 22.00h							
22.00 – 23.00h							
23.00 – 24.00h							

Registro de actividad semanal - PARTICIPANTE 3

	LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES	SÁBADO	DOMINGO
7.00 – 8.00h							
8.00 – 9.00h							
9.00 – 10.00h	TECNO ARM	TECNO ARM	TECNO ARM	TECNO ARM	TECNO ARM		
10.00 – 11.00h		HIDROTERAPIA		HIDROTERAPIA	HIDROTERAPIA	FITNESS	
11.00 – 12.00h	FITNESS	FITNESS	FITNESS	FITNESS	FITNESS		
12.00 – 13.00h							
13.00 – 14.00h	FISIO AREA		FISIO AREA				
14.00 – 15.00h							
15.00 – 16.00h	EF	EF	EF	EF	EF		
16.00 – 17.00h							
17.00 – 18.00h							
18.00 – 19.00h							
19.00 – 20.00h							
20.00 – 21.00h							
21.00 – 22.00h							
22.00 – 23.00h							
23.00 – 24.00h							

## Registro de actividad semanal - PARTICIPANTE 4

	LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES	SÁBADO	DOMINGO
7.00 – 8.00h							
8.00 – 9.00h							
9.00 – 10.00h							
10.00 – 11.00h							
11.00 – 12.00h	MARCHA	CDR	MARCHA	MARCHA	MARCHA	FITNESS	
12.00 – 13.00h	EF	EF	EF	EF	EF		
13.00 – 14.00h							
14.00 – 15.00h							
15.00 – 16.00h	FITNESS	FITNESS	FITNESS	FITNESS	FITNESS		
16.00 – 17.00h	FSIO AREA		FSIO AREA		FSIO AREA		
17.00 – 18.00h	EDU. FAM.	EDU. FAM.	EDU. FAM.	EDU. FAM.	EDU. FAM.	EDU. FAM.	EDU. FAM.
18.00 – 19.00h							
19.00 – 20.00h							
20.00 – 21.00h							
21.00 – 22.00h							
22.00 – 23.00h							
23.00 – 24.00h							

## 6. Cuestionarios finales

## 6.1 Cuestionario final participantes

Valore del 1 al 5 las siguientes cuestiones:

1. Me he sentido <b>cómodo</b> usando la banda fitness.						
Totalmente en desacuerdo	1	2	3	4	5	Totalmente de acuerdo
2. El uso de la banda fitness me ha <b>motivado</b> a mantenerme activo diariamente.						
Totalmente en desacuerdo	1	2	3	4	5	Totalmente de acuerdo
3. El uso de la banda fitness ha <b>interferido</b> en mis actividades de la vida diaria.						
Totalmente en desacuerdo	1	2	3	4	5	Totalmente de acuerdo
4. Considero útil la <b>información</b> proporcionada por la banda fitness.						
Totalmente en desacuerdo	1	2	3	4	5	Totalmente de acuerdo
Comentarios:						

## 6.2 Cuestionario final terapeutas

Valore del 1 al 5 las siguientes cuestiones:

1. La banda fitness ha <b>interferido</b> en los tratamientos.						
Totalmente en desacuerdo	1	2	3	4	5	Totalmente de acuerdo
2. Los datos recogidos son útiles para la <b>objetivación</b> de los progresos del paciente.						
Totalmente en desacuerdo	1	2	3	4	5	Totalmente de acuerdo
3. Los datos pueden influir en la <b>percepción</b> de la evolución por parte del paciente.						
Totalmente en desacuerdo	1	2	3	4	5	Totalmente de acuerdo
4. <b>Seguiría utilizando</b> las bandas fitness en pacientes con lesión medular.						
Totalmente en desacuerdo	1	2	3	4	5	Totalmente de acuerdo
Comentarios:						