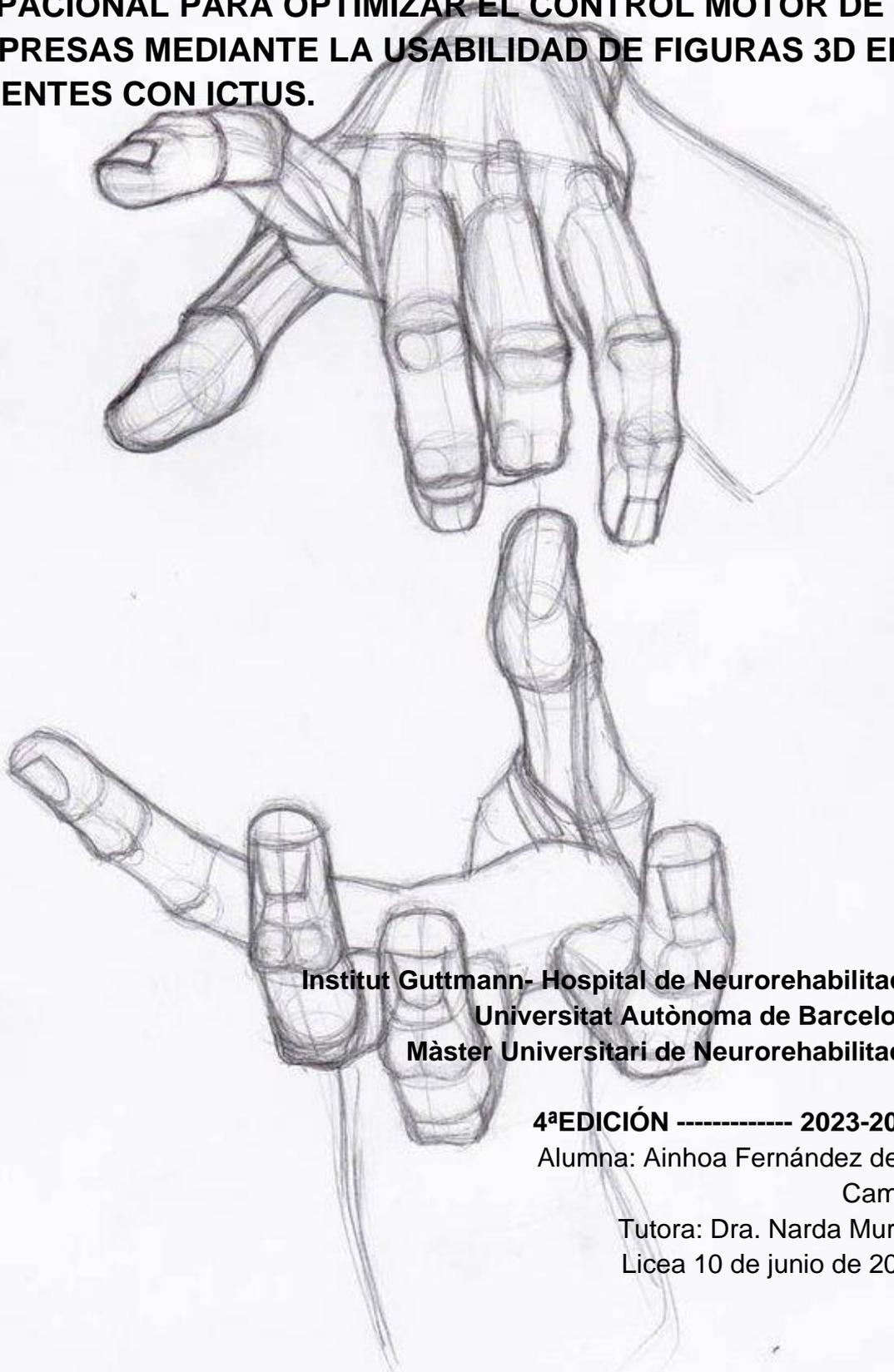


**PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN: PROTOCOLO EN TERAPIA
OCUPACIONAL PARA OPTIMIZAR EL CONTROL MOTOR DE
LAS PRESAS MEDIANTE LA USABILIDAD DE FIGURAS 3D EN
PACIENTES CON ICTUS.**



**Institut Guttmann- Hospital de Neurorehabilitació
Universitat Autònoma de Barcelona
Màster Universitari de Neurorehabilitació**

4ªEDICIÓN ----- 2023-2024

Alumna: Ainhoa Fernández de la
Campa

Tutora: Dra. Narda Murillo
Licea 10 de junio de 2024

ÍNDICE:

1.RESUMEN :	3
2.INTRODUCCIÓN	4
2.1 Epidemiología y etiología del Ictus	4
2.2 Sistema nervioso y control motor del agarre.	5
2.2.1 Integración sensoriomotora y receptores periféricos.	5
2.2.2 Plasticidad y adaptabilidad del sistema nervioso	8
2.2.3 Retroalimentación sensoriomotora	8
2.3 Teorías de control motor en el agarre	9
2.4 Tipos de presas	11
2.3 JUSTIFICACIÓN USABILIDAD OBJETOS 3D	14
2.3.1 Agarre de un objeto	14
2.3.3 Impacto en la optimización del agarre.	15
A) Estimulación sensorial y procesamiento somatosensorial	15
B) Neuroplasticidad y Reorganización Cerebral	16
C) Retroalimentación Sensorial y ajustes motores	16
D) Transferencia a Actividades de la Vida Diaria	16
E) Involucramiento Cognitivo y Motivacional	16
2.3.2 Revisión	17
3. PROPUESTA DE PROTOCOLO	18
3.1 Fundamentación y objetivos del protocolo	18
3.2 Metodología y criterios del protocolo	19
3.3 Participantes	19
3.4 Diseño y evaluación del estudio	20
3.5 Plan de intervención	22
3.6 Evaluación sistemática y recogida de resultados	22
4. CONCLUSIONES	23
5. AGRADECIMIENTOS Y OPINIÓN	23
5. BIBLIOGRAFIA :	24
6. ANEXOS:	29

1.RESUMEN :

El ictus es una de las principales causas de discapacidad a nivel mundial, afectando anualmente a millones de personas y dejando secuelas significativas en el control motor, la función sensorial y la calidad de vida. La recuperación de la función motora, especialmente en la mano y el agarre, es crucial para la independencia y la reintegración social de los pacientes que han sufrido un ictus. La terapia ocupacional desempeña un papel fundamental en la rehabilitación post-ictus, proporcionando intervenciones dirigidas a mejorar la funcionalidad y la independencia del paciente. El uso de figuras moduladas en 3D puede proporcionar una retroalimentación inmediata y detallada, lo que facilita la corrección de errores y la mejora continua de las habilidades motoras en el control motor del agarre. Además, la naturaleza adaptable de estas tecnologías puede aumentar la motivación y el compromiso del paciente, factores cruciales para el éxito en cualquier programa de rehabilitación.

Este proyecto de investigación tiene como objetivo explicar las bases del control motor del agarre y valorar la implementación de un protocolo y explorar su potencial para mejorar la funcionalidad del agarre y la calidad de vida de los pacientes en su entorno diario. A través de un enfoque sistemático y basado en la evidencia, esta propuesta busca contribuir al desarrollo de métodos de rehabilitación más efectivos y accesibles para las personas afectadas por el ictus.

En las siguientes secciones, se presentará el marco teórico y la justificación acompañada del hipotético diseño del protocolo junto con los objetivos específicos, la metodología y los criterios del estudio, la evaluación del protocolo, el plan de intervención, y la evaluación sistemática y recogida de resultados. Esta propuesta busca no solo brindar una oportunidad para la reflexión en la rehabilitación del ictus, sino también sentar las bases para futuras investigaciones y la integración de tecnologías innovadoras en la práctica clínica de la terapia ocupacional.

2.INTRODUCCIÓN

2.1 Epidemiología y etiología del Ictus

El ictus, también conocido como accidente cerebrovascular (ACV), es una de las principales causas de discapacidad y mortalidad a nivel mundial. Según la Organización Mundial de la Salud (OMS), cada año, alrededor de 15 millones de personas sufren un ictus en todo el mundo, de las cuales 5 millones mueren y otros 5 millones quedan permanentemente discapacitados. (World Health Organization, n.d.)

En España, según datos del Instituto Nacional de Estadística (INE), cada año se producen aproximadamente 120,000 casos nuevos de ictus, lo que se traduce en una incidencia de alrededor de 300 casos por cada 100,000 habitantes. La prevalencia también es significativa, ya que más de 330,000 personas viven con las secuelas de un ictus en el país.

El ictus puede afectar diversas funciones cerebrales, dependiendo de la región del cerebro que se vea comprometida. Una de las secuelas más comunes y debilitantes es la afectación del control motor, debido a la interrupción del flujo sanguíneo en el cerebro, afectando áreas responsables del movimiento y la coordinación. Los daños en la corteza motora, el cerebelo y las vías corticoespinales son especialmente relevantes para el control del agarre. Dentro de las secuelas típicas están la hemiparesia o hemiplejía, que es la debilidad o parálisis en un lado del cuerpo que afecta la capacidad de agarrar objetos con la mano del lado afectado, la espasticidad que es el aumento del tono muscular que puede dificultar la apertura y el cierre de la mano, la pérdida de la propiocepción lo que dificulta la percepción de la posición y el movimiento de la mano y los dedos, lo que complica el agarre preciso y controlado, la descoordinación, movimientos descoordinados y falta de sincronización entre los músculos de la mano y el brazo y el impacto de la sensibilidad, con hipoestésias que es la reducción de la sensibilidad táctil dificultando la sensación de contacto con objetos, lo que afecta la capacidad para utilizar la fuerza necesaria para un agarre seguro; la pérdida de sensibilidad a la temperatura y dolor, incapacidad para percibir calor, frío o dolor, lo que puede poner al paciente en riesgo de lesiones y disestesias; sensaciones anormales o desagradables al tocar objetos, que pueden incluir hormigueo, ardor o picazón, dificultando el agarre cómodo y seguro. (Grotta et al., 2022)

En el siguiente cuadro se explica epidemiología, etiología, tipos y principales tratamientos en la rehabilitación del ictus (Tabla 1)

ICTUS	EPIDEMIOLOGÍA	La prevalencia de ictus en Europa alcanza un 9,2%. La incidencia se sitúa en 191,9 por 100.000 personas-año. La prevalencia de ictus ha aumentado mientras que la incidencia se mantiene estable en comparación con estudios realizados a comienzos del siglo XXI				
	ETIOLOGÍA	HEMORRÁGICO	1. Hipertensión arterial 2. Malformaciones arteriovenosas (AMV) 3. Aneurismas cerebrales 4. Trauma Cranoencefálico 5. Uso de anticoagulantes	MECANISMOS FISIOPATOLÓGICOS	1. HEMORRAGIA INTRAPARENQUIMATOSA 2. HEMORRAGIA INTRAVENTRICULAR 3. HEMORRAGIA SUBARACNOIDEA	1. OBSTRUCCIÓN DEL FLUJO SANGUÍNEO (ruptura vaso) 2. LESIÓN CEREBRAL (hemorragia) 3. RESPUESTA INFLAMATORIA 4. EDEMA CEREBRAL 5. DISFUNCIÓN NEUROLÓGICA 6. LESIÓN SECUNDARIA
		ISQUÉMICO	1. Aterosclerosis 2. Fibrilación auricular 3. Enfermedades cardíacas como la enfermedad de la arteria coronaria.	MECANISMOS FISIOPATOLÓGICOS	1. TROMBÓTICO 2. EMBOLIZO 3. LACUNAR	1. OBSTRUCCIÓN DEL FLUJO SANGUÍNEO (trombo) 2. LESIÓN CEREBRAL (isquemia) 3. RESPUESTA INFLAMATORIA 4. EDEMA CEREBRAL 5. DISFUNCIÓN NEUROLÓGICA 6. LESIÓN SECUNDARIA
	PRINCIPALES ESTRATEGIAS DIAGNÓSTICAS	Evaluación clínica inicial, se observa su historia clínica y examen neurológico completo.	Escala NIHSS para cuantificar la gravedad del ictus y orientar el manejo del paciente			
		La Tomografía computarizada (TC) es muy útil ya que puede identificar muy rápido la presencia de hemorragia intracranial o evidencia de isquemia cerebral.	Resonancia magnética cerebral (RM), más sensibilidad para cambios isquémicos.			
		Angiografía por tomografía computarizada (angio-TC)	Angiografía por resonancia magnética (angio-RM)	Angiografía Cerebral permiten ver causas subyacentes al ictus:		
Electrocardiograma (ECG)		Tomografía por emisión de positrones (PET) y Tomografía por emisión de fotón único (SPECT)	Estudios de laboratorio			
TRATAMIENTOS MÁS UTILIZADOS EN TERAPIA OCUPACIONAL	Terapia de Rehabilitación Basada en la Tarea	Estimulación Eléctrica Funcional (FES)	Terapia de Movimiento Inducido por Restricción	Realidad Virtual y Juegos Basados en Computadora	Terapia de Espejo	

Tabla 1: *Epidemiología, etiología, mecanismos fisiopatológicos, estrategias diagnósticas y tratamiento Ictus.*

2.2 Sistema nervioso y control motor del agarre.

La comprensión de cómo el sistema nervioso controla el agarre es fundamental para desarrollar estrategias de rehabilitación eficaces, especialmente para personas que han sufrido un ictus. Después de un ictus, las conexiones neuronales pueden verse alteradas, lo que afecta la capacidad de controlar el agarre.

2.2.1 Integración sensoriomotora y receptores periféricos.

La interacción entre la información sensorial y la ejecución motora durante el agarre es una danza intrincada que involucra una red compleja de estructuras, la corteza somatosensorial, (S1) y la corteza motora primaria (M1).

La transmisión de señales sensoriales comienza en los receptores periféricos ubicados en la piel, músculos, articulaciones y otros tejidos. Estos receptores, como los corpúsculos de Pacini, especializados en la detección de vibraciones y cambios rápidos de presión, se encuentran principalmente en los tejidos profundos. Los corpúsculos de Meissner, más superficiales, son sensibles a estímulos de baja frecuencia y brindan información sobre toques ligeros y movimientos finos. Los corpúsculos de Merkel, localizados en la epidermis,

son cruciales para la discriminación fina de la textura. Estos receptores trabajan en conjunto con los usos musculares y los órganos tendinosos de Golgi para proporcionar una gama completa de información sensorial durante el agarre. Cuando un estímulo activa un receptor, se generan potenciales de receptor, señales eléctricas que codifican la información sensorial. La fuerza y la frecuencia de estos potenciales están relacionadas con la intensidad del estímulo. Los potenciales de receptor activan la transducción del estímulo, un proceso en el cual, la energía del estímulo (como la presión mecánica o la temperatura) se convierte en señales eléctricas. Esto ocurre a través de cambios en la permeabilidad de la membrana celular del receptor. Los potenciales de receptor transmiten la señal a lo largo de las fibras nerviosas hacia el sistema nervioso central, si la estimulación alcanza el umbral de excitación, se generan potenciales de acción en las fibras nerviosas aferentes. Las fibras aferentes primarias, también conocidas como neuronas de primer orden, llevan la información sensorial desde los receptores periféricos hasta la médula espinal o el tronco encefálico. Estas fibras pueden pertenecer a diferentes tipos de vías sensoriales, como la vía lemniscal medial o las vías espinocerebelosas. En la médula o el tronco encefálico, las fibras aferentes se conectan con neuronas de segundo orden. En esta etapa puede ocurrir procesamiento sensorial inicial, como la inhibición de señales irrelevantes o la modulación de la intensidad de la señal. (Figura 1,2)

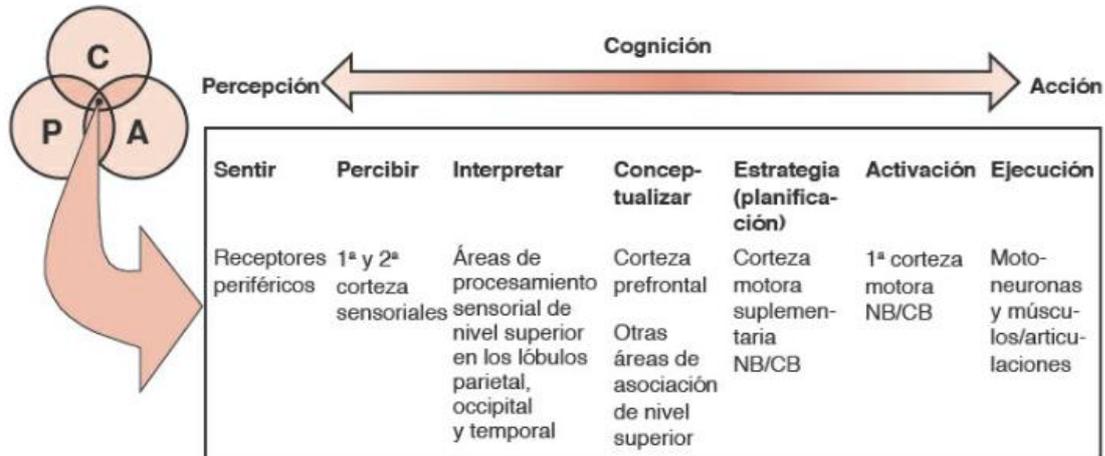


Fig 1: Modelo de la acción recíproca entre los procesos perceptivos de acción y cognitivos que participan en el control motor. NB, núcleos basales; CB, cerebelo. (Shumway-Cook & Woollacott, 2017, pp. 105-108)

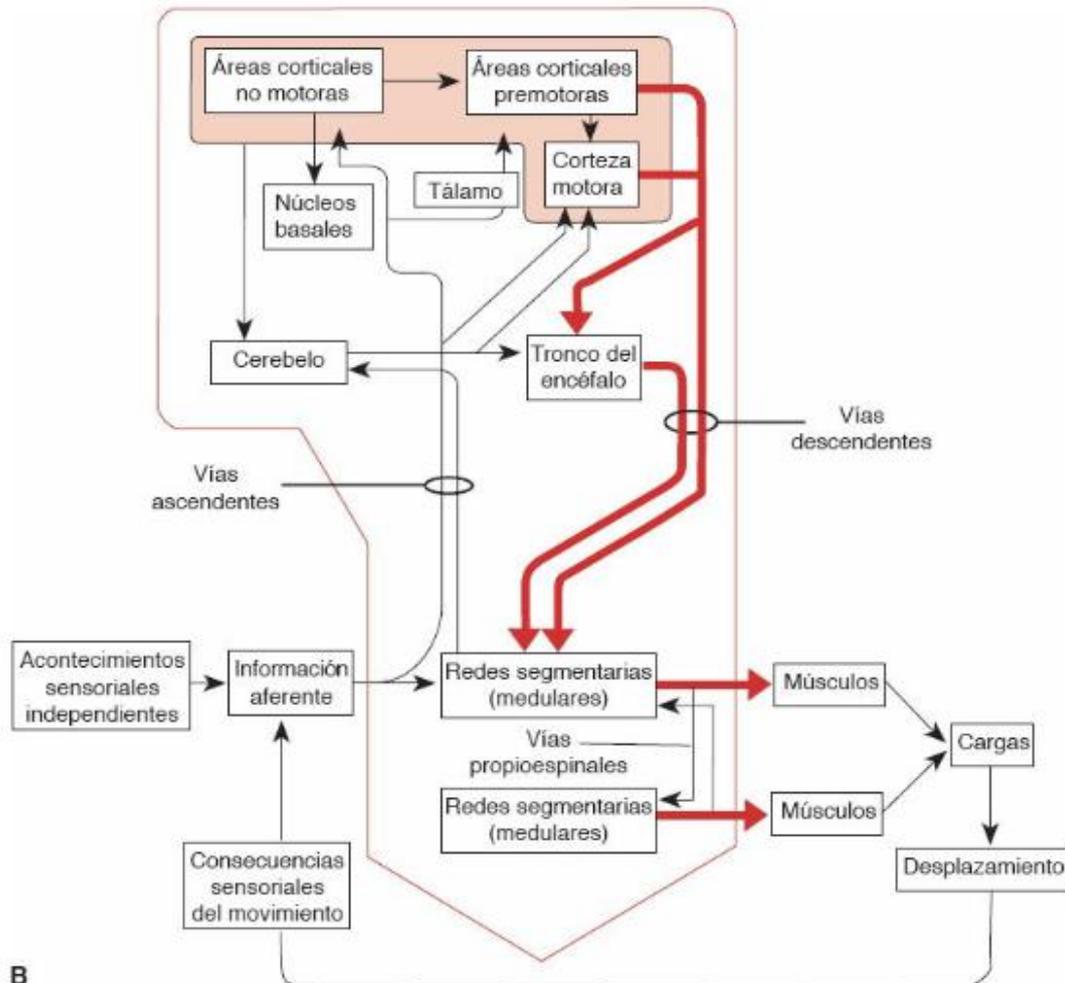


Fig 2: sistema nervioso en proyección anatómica. B, Modelo abstracto del sistema nervioso (adaptado de Kandel ER., Schwartz JH, Jessell TM, eds. *Principles of Neuroscience*, 3a. ed. Nueva York, NY: Elsevier, 1991)

Una vez procesada la información sensorial, la corteza genera señales motoras descendentes que regulan la ejecución del agarre. La retroalimentación sensoriomotora facilitada por los receptores periféricos informa continuamente a la corteza sobre la posición y la fuerza aplicada durante el asir, permitiendo ajustes en tiempo real para mantener la precisión donde entran los órganos tendinosos de Golgi, modulando la actividad muscular.

La integración sensorial ocurre en varias estructuras del sistema nervioso y no está limitada a una única región específica. En general, la integración sensorial involucra la coordinación de información proveniente de diferentes sistemas sensoriales como la vista, el tacto y la propiocepción. En el lóbulo parietal, donde se procesa la información para construir una representación coherente del entorno y del propio cuerpo. También en el giro postcentral, esencial para la percepción táctil y la integración sensorial relacionada con el sentido del

tacto. El tálamo, parte del diencefalo también actúa como una estación de relevo para las señales sensoriales que van desde los receptores periféricos hasta la corteza cerebral. Si bien no realiza una integración sensorial compleja, es una de las primeras estructuras que recibe estas señales, antes de que lleguen a regiones más complejas donde se lleva a cabo la interpretación de la información, la formación de percepciones y la planificación de respuestas más específicas. (Shumway-Cook & Woollacott, 2017).

2.2.2 Plasticidad y adaptabilidad del sistema nervioso

El sistema nervioso tiene una capacidad para modificar sus conexiones sinápticas y su organización funcional en respuesta a la experiencia y a los estímulos del entorno, esto se denomina plasticidad sensoriomotora (Hebb, 1949; Blumenfeld, 2010). Durante el agarre, cuando se realizan movimientos repetitivos, estas conexiones sinápticas entre las neuronas sensoriales (que reciben información del tacto y la posición) y las neuronas motoras (que envían señales para controlar la contracción muscular) pueden ser modificadas. La repetición de movimientos específicos favorece estas conexiones sinápticas. Esto puede implicar un aumento en la eficacia de la transmisión de señales entre las neuronas sensoriales y motoras involucradas en el agarre. Esta adaptación sináptica es parte fundamental del aprendizaje motor y la mejora de la habilidad en el agarre. La plasticidad sináptica permite al sistema nervioso ajustarse y optimizar las conexiones neuronales para ejecutar movimientos específicos de manera más eficiente con el tiempo. La *regla de Hebb*, fundamental en la plasticidad asociativa, es un principio fundamental en neurociencia que sugiere que la eficacia de una conexión sináptica entre dos neuronas se fortalecerá si ambas neuronas se activan de manera coordinada y repetida (Hebb, 1949). En el contexto del agarre, esto implica que si las neuronas que controlan la planificación y ejecución del agarre (por ejemplo, en la corteza motora) se activan al mismo tiempo que las neuronas sensoriales que reciben información táctil y de posición durante el agarre (corteza somatosensorial), las conexiones sinápticas entre estas neuronas se fortalecerán.

Por otra parte, la implicación del cerebelo es central en la retroalimentación y ajuste fino de los movimientos, contribuye significativamente en la plasticidad sensoriomotora durante el agarre (Ghez & Krakauer, 2000). Esta plasticidad, también implica cambios a largo plazo que persisten más allá del evento motor. La consolidación de adaptaciones neuroanatómicas garantiza una mejora sostenida en la capacidad de agarre, incluso después de la experiencia inicial.

2.2.3 Retroalimentación sensoriomotora

La retroalimentación es un proceso dinámico e integral que involucra la transducción de estímulos, la integración en la médula espinal, la actualización cortical y la adaptación continua. Este sistema complejo garantiza la eficacia y precisión del agarre en entornos cambiantes. La retroalimentación sensoriomotora permite un ajuste preciso de la fuerza aplicada, la información táctil y propioceptiva e influye en la activación muscular, asegurando la fuerza adecuada para sostener y manipular el objeto sin excederse ni comedirse. La retroalimentación se adapta a las características específicas del objeto, como su textura, peso y forma; igualmente existe una corrección continua de errores, ya que, si hay desviaciones en la ejecución del agarre, la información sensorial influye en ajustes inmediatos para mantener la estabilidad y precisión, al mismo tiempo existe una coordinación fina de movimientos de los dedos y la mano, esencial para tareas que requieren destreza. La información sensorial se integra en el sistema nervioso central, permitiendo una representación centralizada de la acción de agarre. La corteza cerebral, incluida la corteza motora primaria y somatosensorial, procesa esta información para la ejecución consciente y precisa adaptándose continuamente a cambios ambientales, optimizando el rendimiento del agarre en situaciones diversas. Todo este proceso retroalimentativo contribuye a la plasticidad sináptica, mencionada anteriormente, facilitando el aprendizaje y la mejora continua en la ejecución del agarre. Además, estos ciclos de retroalimentación contribuyen al control motor general de otras actividades/acciones motoras finas.

Por último, hay que puntualizar que el hipocampo, estructura cerebral asociada a la memoria y formación de nuevos recuerdos, es esencial para la integración de la información contextual asociada con experiencias pasadas. Si bien no está directamente involucrado en el agarre de un objeto, contribuye a la capacidad del cerebro para recordar y aprender de experiencias previas de manipulación de objetos (Kandel, Schwartz, & Jessell, 2000)

2.3 Teorías de control motor en el agarre

El control motor se refiere a la capacidad del sistema nervioso para dirigir y coordinar los movimientos voluntarios del cuerpo. Esta capacidad implica la integración de señales sensoriales, procesamiento neurológico y activación muscular para ejecutar movimientos precisos y coordinados. El control motor del agarre, en particular, es esencial para la realización de actividades diarias como comer, escribir, y manipular objetos.

Cuando se produce un ictus y dependiendo de la región afectada, puede tener diversas consecuencias neurológicas. Cuando el daño se localiza en áreas del cerebro responsables del movimiento y la coordinación, se produce una disfunción significativa en el control motor que se puede observar en forma de paresia, espasticidad, ataxia, alteraciones de la sensibilidad o apraxias. Estas alteraciones dificultan significativamente la capacidad de los pacientes para realizar tareas que requieren precisión y coordinación, como es en este caso, el agarre y manipulación de objetos.

Existen numerosas teorías de control motor, en este caso se mencionarán tres, considerando la practicidad y el objetivo final del trabajo.

Teoría de Esquemas de Schmidt:

Propuesta por Richard Schmidt en 1975 sugiere que el aprendizaje motor se basa en la formación de esquemas o representaciones generales de movimientos. Estos esquemas se almacenan en la memoria a largo plazo y se utilizan para generar movimientos en diversas situaciones. Para el agarre, esto implica que el cerebro utiliza esquemas previos para ajustar la fuerza y la precisión del agarre en función de las características del objeto. (Schmidt,1975).

Teoría del control Jerárquico:

Esta teoría postula que el sistema nervioso central organiza los movimientos de manera jerárquica, con niveles superiores (como la corteza cerebral) que planifican y controlan los movimientos generales, y niveles inferiores (como el tronco encefálico y la médula espinal) que ejecutan los detalles específicos de los movimientos. En el caso del agarre, la corteza motora planifica el movimiento mientras que las áreas subcorticales ejecutan las acciones precisas (Miller, 1988).

Teoría de los Sistemas Dinámicos:

La teoría de los sistemas dinámicos sugiere que el movimiento emerge de la interacción entre el individuo, la tarea y el entorno. Según esta teoría, el control motor no es únicamente un proceso top-down (de arriba hacia abajo), sino que también implica interacciones bidireccionales y adaptativas entre los distintos componentes del sistema. Para el agarre, esto significa que la forma en que una persona agarra un objeto depende de las propiedades del objeto, el contexto de la tarea y las capacidades del individuo. (Kelso,1995)

Por otra parte, el control motor del agarre tras un ictus puede estar gravemente afectado por los daños neurológicos ocurridos. Las teorías actuales ofrecen explicaciones sobre cómo se puede recuperar y adaptar el control motor:

Teoría del Aprendizaje Motor Basado en Tareas:

Enfatiza la importancia de la práctica orientada a tareas en la rehabilitación. Según esta teoría, el aprendizaje motor es más efectivo cuando los pacientes practican tareas funcionales y significativas en contextos reales. Esto podría implicar ejercicios de agarre que se asemejen a actividades de la vida diaria, como agarrar una taza o un utensilio de cocina, para promover la recuperación del control motor. (Kleim & Jones, 2008).

Teoría de los Modelos Internos:

Los modelos internos son representaciones internas de las acciones motoras y sus consecuencias sensoriales. Después de un ictus, los modelos internos pueden estar dañados, afectando la precisión del control motor. La rehabilitación puede enfocarse en la

reconstrucción de estos modelos a través de la práctica y la retroalimentación, ayudando al cerebro a predecir y corregir los movimientos del agarre. (Kawato, 1999)

2.4 Tipos de presas

Siguiendo la clasificación clásica de A.i Kapandji la prensión la podríamos dividir en tres tipos: las presas (también denominadas pinzas), las presas con la gravedad y las presas con acción. Las *presas o pinzas pluridigitales* hacen intervenir, además del pulgar, los otros dos, tres o cuatro dedos. Permiten, por lo tanto, una prensión mucho más firme que la bidigital. Entre ellas, se encuentran:

Pinza o presa tridigital

Son las que se utilizan con mayor frecuencia. En ella, intervienen tanto el pulgar como el 2º y 3º dedo. Se utiliza para coger, por ejemplo, una pelota pequeña, cuando utilizamos el tenedor, al desenroscar un tapón de una botella o en la escritura (siendo en este caso, pulpejo del dedo pulgar con el pulpejo del 2º dedo y lateral para el 3º dedo). Este último tipo de presa es muy direccional y se parece tanto a las presas centradas como a las presas activas, ya que la escritura es el resultado de los movimientos del hombro y de la mano, siendo la zona cubital y el dedo meñique los que se deslizan por la mesa junto con la acción de los movimientos que generan los tres primeros dedos. (Figura 3)



Fig 3: *Presas tridigitales*

Pinza o presa tetradigital: se utilizan cuando el objeto es más grueso y demanda mayor firmeza para cogerlo. Pueden ser de tres tipos:

- o *Tetradigital del pulpejo:* cuando se coge un objeto esférico.
- o *Tetradigital pulpejo-lateral:* se utiliza para desenroscar una tapa. En este caso, el contacto con el pulgar es amplio (pulpejo y cara palmar de la primera falange), siendo lateral sobre el 2º y 3º dedo y del pulpejo en la segunda falange del 4º dedo que bloquea el objeto por dentro.
- o *Tetradigital del pulpejo pulgotridigital:* se utiliza para sujetar un lápiz, sostener un pincel o para sujetar el arco de un violinista. (Figura 4)



Pinza tetradigital del pulpejo

Fig 4: *Pinza tetradigital del pulpejo*

o *presa pentadigital*: en ella se utilizan todos los dedos, siendo el pulgar el que se opone de forma variada a los otros dedos. Este tipo de pinza se utiliza generalmente para coger objetos grandes, pero también se pueden utilizar para coger objetos pequeños utilizando una presa pentadigital del pulpejo, efectuando el 5º dedo un contacto lateral. Si el objeto es un poco más voluminoso (pelota de tenis), la pinza se convierte en pentadigital pulpejo-lateral. Como pinzas o presas penta digitales, también están la presa comisural (se utiliza para coger objetos gruesos semiesféricos como puede ser un cuenco, en este caso se requiere una gran flexibilidad y posibilidad de separación de la primera comisura) y la presa pentadigital panorámica (que permite coger objetos grandes planos como una bandeja, donde es necesario gran abducción de los dedos). (Figura 5)



Pinza pentadigital

Fig 5: *Pinza pentadigital*

Las **presas palmares** es un tipo de presa en el que además de los dedos, interviene la palma de la mano. Dependiendo de si interviene o no el pulgar, pueden ser de dos tipos:

Prensión dígito-palmar: en este tipo de prensión no interviene el pulgar, es la palma de la mano la que se opone a los cuatro últimos dedos. Este tipo de prensión se suele utilizar para sujetar un objeto con poco diámetro (3-4 cm), aunque también se puede utilizar para sujetar un objeto más voluminoso como puede ser un vaso. Eso sí, cuanto mayor diámetro tenga el objeto, menos firme será su sujeción. (Figura 6)



Fig 6: *Prensión digitopalmar*

Prensión palmar con la totalidad de la palma: en este tipo de prensión, la mano se enrolla entorno a los objetos cilíndricos. Es una prensión de fuerza que se utiliza para el agarre de objetos pesados y relativamente voluminosos. El volumen del objeto va a condicionar la fuerza de prensión. (Figura 7)



Fig 7: *Prensión palmar*

Existen dos tipos de prensión palmar:

- **Presa palmar cilíndrica:** utilizada para objetos de diámetro importante. A mayor diámetro, menos firme será la presa. Además, el volumen del objeto exige máxima libertad de separación de la primera comisura.
- **Presa palmar esférica:** este tipo de presa puede implicar tres, cuatro o cinco dedos. Cuando intervienen tres o cuatro dedos, el último dedo implicado contactan por la

cara lateral externa con el objeto, constituyendo así un tope interno, reforzado por los dedos restantes. Este tope, se opone a la presión del pulgar, de modo que el objeto queda bloqueado distalmente por los dedos que establecen contacto palmar con el objeto. La presa palmar esférica pentadigital, es una presa más simétrica que las anteriores, en ella, todos los dedos contactan con el objeto por su cara palmar y el pulgar se opone al dedo anular.

En las **presas con gravedad**, como su nombre indica, la acción de la gravedad es indispensable. En ellas, la mano sirve de soporte al realizar acciones como sujetar una bandeja, al ahuecar la mano para contener agua, harina o arroz... Este tipo de presas requiere de una supinación íntegra, ya que, sin ella, la palma de la mano no puede orientarse hacia arriba para desempeñar su función. (Kapandji 1998) (Figura 8)



Ejemplos de presas con la gravedad

Fig 8: Presas con gravedad

2.3 JUSTIFICACIÓN USABILIDAD OBJETOS 3D

2.3.1 Agarre de un objeto

En el contexto del agarre de un objeto, se consideran múltiples procesos y sistemas que interactúan de manera coordinada para llevar a cabo esta acción con eficiencia y precisión. Primero, es fundamental la **anticipación y planificación**. Este proceso comienza con la recopilación y procesamiento de información visual, que permite identificar las cualidades del objeto, como su tamaño, forma y textura. Esta información se almacena en la memoria sensoriomotora, permitiendo anticipar las características del objeto y preparar el sistema motor para el agarre. Durante esta etapa, el cerebro planifica y procesa la información necesaria para activar los músculos adecuados. (La anticipación es la capacidad del cerebro para prever las características del objeto que se va a agarrar (por ejemplo, su textura, forma y peso). Este proceso se inicia en la corteza prefrontal y se transmite a la corteza premotora y la corteza parietal posterior, donde se integran la información visual y la memoria de experiencias pasadas para preparar el movimiento). (La planificación motora implica la generación de un plan de acción detallado en la corteza premotora y el área motora suplementaria. Estos planes incluyen la secuencia de movimientos necesarios y la coordinación de los músculos involucrados para realizar el agarre con precisión.)

Cuando se establece el **contacto inicial** (los receptores táctiles como los corpúsculos de Meissner y Pacini) en la piel de los dedos detectan la textura y la presión. Esta información se envía rápidamente a la corteza somatosensorial con el objeto, se produce un **ajuste inicial** basado en la información sensorial táctil y propioceptiva. (La corteza motora primaria y el cerebelo ajustan la fuerza y la postura de la mano en respuesta a la información táctil inicial, optimizando el agarre para la manipulación del objeto.)

Estos datos sensoriales son cruciales para adaptar la fuerza y la posición del agarre en tiempo real. La **retroalimentación sensorial** proviene de los sistemas sensoriales, que están en continuo intercambio de información durante y después de la ejecución de los movimientos.

El **ajuste del movimiento** es una parte crucial de este proceso. A medida que la experiencia y el aprendizaje aumentan, la eficiencia y precisión del control sensoriomotor mejoran. La memoria sensoriomotora desempeña un papel importante en el aprendizaje, permitiendo al individuo adaptar y perfeccionar sus movimientos con el tiempo.

El **control predictivo** es otro componente esencial, utilizando **modelos internos** para predecir las acciones motoras y las respuestas sensoriales esperadas. Esta capacidad predictiva permite realizar ajustes en tiempo real, mejorando la interacción con el objeto y optimizando el agarre. (Oshea, 2021)

Todo este proceso, respaldado por teorías mencionadas anteriormente y en artículos que mencionan “El control de la fuerza de agarre se basa en modelos internos precisos de la dinámica de nuestro sistema motor y los objetos externos que manipulamos. Los modelos internos no son entidades fijas, sino que se entrenan y actualizan mediante la experiencia sensorial. La retroalimentación sensorial señala propiedades relevantes del objeto y eventos mecánicos, por ejemplo, en la interfaz piel-objeto, para modificar comandos motores y actualizar las representaciones internas automáticamente. Aquí demostramos que la retroalimentación sensorial intacta es esencial para la regulación predictiva de la fuerza de agarre” (Johansson, y Flanagan 2009).

Asimismo, cabe decir que “los individuos con mayor experiencia en la manipulación de objetos muestran una capacidad superior para prever y adaptarse a las características de nuevos objetos, gracias a un repertorio más amplio de estrategias motoras almacenadas en su memoria sensoriomotora” (Nowak, Glasauer & Hermsdorfer 2004).

2.3.3 Impacto en la optimización del agarre.

A) Estimulación sensorial y procesamiento somatosensorial

Los objetos con diferentes texturas (rugosa, lisa, granular) activan diversos receptores táctiles en la piel (mecanorreceptores), como los de Meissner (texturas finas), proporcionando retroalimentación sensorial. Esta variedad sensorial es esencial para mejorar la percepción táctil y la discriminación. La manipulación de objetos con diferentes formas (esférica, cilíndrica, irregular) desafía al sistema motor a ajustar los patrones de agarre y la fuerza de manera continua lo que requiere al cerebro planificar y ejecutar movimientos finos y adaptativos. Las diferencias de peso hacen que los receptores propioceptivos en músculos, tendones y articulaciones detecten cambios en la carga y por tanto la posición del brazo/mano por lo que y el cerebelo y la corteza motora ajustan la fuerza aplicada para mantener

el objeto sin ejercer demasiada presión, previniendo fatiga muscular y lesiones por lo que, requieren ajustes en la fuerza del agarre y la postura del brazo, estimulando los músculos y las vías motoras involucradas en la modulación de la fuerza.

B) *Neuroplasticidad y Reorganización Cerebral*

La exposición a una variedad de estímulos sensoriales y motores facilita la neuroplasticidad, capacitando al cerebro para reorganizarse y formar nuevas conexiones neuronales. El principio de uso-dependencia describe que la práctica repetitiva y variada con estos objetos puede promover la reorganización cortical y la recuperación de las funciones motoras afectadas por el ictus en respuesta a la actividad y la experiencia. Por otra parte, estudios han demostrado que la rehabilitación puede llevar a una expansión y reorganización de las áreas corticales que controlan los movimientos de la mano y los dedos, compensando las áreas dañadas por el ictus.

C) *Retroalimentación Sensorial y ajustes motores*

La retroalimentación sensorial proporcionada por los objetos modulados es crucial para el aprendizaje motor. Permite al cerebro recibir información sobre el éxito o error del movimiento y ajustar los comandos motores en consecuencia. Este proceso de retroalimentación y ajuste mejora la precisión y eficacia del control motor. Ya que al poder modular un brick de leche en textura o peso no esperado, el cerebelo juega un papel crucial detectando estos errores y trabajando en corregirlos.

D) *Transferencia a Actividades de la Vida Diaria*

El uso de objetos de la vida diaria facilita la transferencia de las habilidades adquiridas durante la rehabilitación a contextos reales, mejorando la funcionalidad y la independencia del paciente. La práctica con objetos familiares aumenta la motivación y la relevancia de los ejercicios terapéuticos, lo cual es esencial para la adherencia y el éxito de la rehabilitación y en su generalización a otros contextos a largo plazo.

La manipulación de objetos con diferentes características requiere el uso coordinado de habilidades motoras finas y gruesas. Esta coordinación es fundamental para tareas cotidianas como comer, vestirse, y escribir, o cualquier tarea cotidiana en la que intervengan presas.

E) *Involucramiento Cognitivo y Motivacional*

La variabilidad y el desafío presentado por estos objetos no solo involucran los sistemas sensorial y motor, sino también los procesos cognitivos como la planificación, el problema y la toma de decisiones. El interés y la motivación del paciente son mayores cuando las tareas de rehabilitación son variadas y desafiantes, lo que puede mejorar la adherencia al programa de rehabilitación.

2.3.2 Revisión

La rehabilitación post-ictus presenta múltiples desafíos debido a la complejidad de los déficits a medida que las tecnologías avanzan, surge la oportunidad de integrar nuevas herramientas y enfoques en la terapia ocupacional para mejorar la eficacia de los tratamientos. La tecnología 3D se destaca como una innovación prometedora para abordar estos desafíos de manera efectiva y personalizada. Los enfoques tradicionales de rehabilitación a menudo dependen de ejercicios repetitivos y manuales que pueden ser monótonos y menos motivadores para los pacientes. La variabilidad en la respuesta al tratamiento debido a diferencias individuales en los pacientes requiere métodos más adaptables y personalizados. La adherencia a los programas de rehabilitación puede ser baja debido a la falta de interés y motivación con las técnicas tradicionales. Es fundamental encontrar maneras de involucrar a los pacientes de manera activa y sostenida en su proceso de recuperación.

La terapia ocupacional, realiza evaluaciones exhaustivas para determinar el nivel de déficit en el control del agarre y planificar intervenciones adecuadas. Se utilizan herramientas como dinamómetros, pruebas de destreza manual y evaluaciones sensoriales. La evaluación continua permite ajustar las intervenciones en función de la progresión del paciente. Se diseñan ejercicios específicos para mejorar la fuerza, la coordinación y la precisión. Esto incluye actividades como agarrar y soltar objetos de diferentes tamaños y pesos, ejercicios de pinza y manipulaciones finas. Las actividades funcionales se seleccionan para ser relevantes y motivadoras para el paciente, facilitando la transferencia de habilidades a situaciones de la vida real.

Dentro de la evidencia sobre diferentes tipos de tratamientos para la rehabilitación del agarre podemos encontrar desde FES (estimulación eléctrica funcional) donde en estudios se observa que combinada con ejercicios de extremidades superiores puede mejorar la función de alcance y agarre en pacientes con ictus agudo (Thrasher, Zivanovic, McIlroy y Popovic 2008). También en un estudio puede verse que la vibración de todo el cuerpo y los ejercicios de ciclo superior e inferior mejoran eficazmente la función motora de las extremidades superiores y la fuerza de agarre en pacientes con accidentes cerebrovasculares subagudos, con mejoras más pronunciadas en la vibración de todo el cuerpo. (Ahn, Kim y Park 2019)

En un estudio se observó que la relación entre la fuerza de agarre y la carga real, que se considera una medida sensible de la eficiencia de la fuerza, se elevó significativamente en pacientes con accidente cerebrovascular, lo que indica una generalización estratégica del aumento de la fuerza de agarre cuando las áreas sensoriomotoras cerebrales están funcionalmente deterioradas, mismos autores discuten cómo la retroalimentación sensorial, incluso cuando es intermitente, es esencial para el control predictivo de la fuerza de agarre y la actualización de los modelos internos para la efectividad de los comandos motores descendentes. (Hermsdörfer, Blankenfeld, & Goldenberg, 2003).

En otro estudio comentan que los pacientes con accidente cerebrovascular crónico presentan un control deficiente de la fuerza de agarre durante la manipulación de objetos, lo que genera

márgenes de seguridad excesivos y un acoplamiento de fuerza-carga deficiente. (Hermsdörfer, Hagl, Nowak, y Marquardt, 2003).

El control de la fuerza anticipatoria especifica los comandos motores sobre la base de predicciones sobre las propiedades físicas de los objetos y las consecuencias de nuestras propias acciones. La información sensorial de retroalimentación de los dedos de agarre, que representan eventos mecánicos en la interfaz piel-objeto, modifica automáticamente la fuerza de agarre de acuerdo con los requisitos de carga reales y actualiza las memorias sensoriomotoras para respaldar el control anticipado de la fuerza de agarre. (Johansson & Flanagan, 2009).

Se ha hipotetizado que el SNC toma la información sobre color, forma, distancia y orientación, y la organiza para formar un mapa maestro de la imagen (Treisman, 1999). Los sistemas atencionales permiten la concentración en una pequeña porción del mapa maestro conforme se identifican objetos o hay un desplazamiento en el espacio.

3. PROPUESTA DE PROTOCOLO

3.1 Fundamentación y objetivos del protocolo

La rehabilitación del agarre en pacientes post-ictus es un desafío significativo en la terapia ocupacional debido a la complejidad del control motor y las secuelas neuromusculares que resultan del accidente cerebrovascular. Las técnicas tradicionales de rehabilitación han mostrado beneficios, pero la búsqueda de métodos más eficaces y personalizados sigue siendo una prioridad.

El uso de figuras 3d moduladas en textura, forma y peso se basa en teorías explicadas anteriormente que subrayan la importancia de la retroalimentación sensoriomotora y la plasticidad neuronal. Estas figuras pueden ser personalizadas para proporcionar estímulos táctiles y propioceptivos específicos, lo que facilita la reeducación del control motor fino y grueso.

Hipótesis: La implementación de un protocolo de terapia ocupacional que utilice figuras 3d moduladas en textura, forma y peso mejorará significativamente el control motor del agarre en pacientes que hayan sufrido un ictus, permitiéndoles manejar con mayor eficacia objetos de la vida diaria al regresar a sus hogares, en comparación con la rehabilitación convencional.

Objetivos del protocolo:

- Diseñar un protocolo de terapia ocupacional basado en la usabilidad de figuras 3D para mejorar el control motor del agarre en pacientes con ictus.
- Evaluar la efectividad y la aceptabilidad de este protocolo en comparación con los métodos convencionales de rehabilitación.
- Investigar los efectos a largo plazo del protocolo en la funcionalidad y la calidad de vida de los pacientes.

- Evaluar el impacto de la retroalimentación sensorial proporcionada por las figuras 3D en la plasticidad neuronal y la reconfiguración de los esquemas motores.
- Analizar si la mejora del agarre mediante el uso de estas figuras se traduce en una mayor habilidad para manejar objetos de la vida diaria.
- Mejorar la anticipación a las características del objeto y planificar movimientos de manera más efectiva, mejorando la precisión y seguridad del agarre.
- Mejorar ajuste inicial adecuado y seguro del agarre.
- Mejorar la eficiencia de ajustes de movimiento mejorando coordinación y fuerza.
- Fortalecer conexiones neuronales y mejorar la memoria sensoriomotora
- Promover el control predictivo mejorando el ajuste y la precisión

3.2 Metodología y criterios del protocolo

El estudio se plantea como un ensayo experimental con asignación aleatoria de los participantes a dos grupos: experimental y control. El grupo de intervención recibirá terapia ocupacional con figuras 3D, mientras que el grupo de control recibirá terapia convencional sin el uso de tecnología 3D.

Se realizarán mediciones pre y post-intervención, así como seguimientos a largo plazo para evaluar los efectos sostenidos del protocolo.

El estudio lo revisará y aprobará un comité de ética en investigación, además todos firmarán un consentimiento informado antes de comenzar y se manejarán con confidencialidad sus datos y se asegurará el anonimato en la presentación de los resultados.

3.3 Participantes

Parte de los criterios de inclusión y exclusión se basan en la *CIMT* (Constraint Induced Movement Therapy) (Taub, Uswatte & Pidikiti 1999)

Criterios de inclusión:

- Pacientes diagnosticados con ictus que presentan hemiparesia o hemiplejía en la extremidad superior
- Edad entre 18 y 80 años
- Capacidad de comprender y seguir instrucciones simples
- 10-20 grados de extensión de muñeca
- 10 grados extensión de dedos
- Pacientes en fase subaguda o crónica (desde 3 meses hasta 2 años post-ictus).
- Consentimiento informado

Criterios de exclusión:

- Comorbilidades graves: Presencia de condiciones médicas severas que puedan interferir con la participación en el protocolo (enfermedades cardíacas graves, insuficiencia renal).
- Parálisis completa o muy severa.
- Otros trastornos psiquiátricos/ neurológicos
- Déficit Sensorial Grave
- Espasticidad o contracturas severas que limitan significativamente el rango de movimiento.

3.4 Diseño y evaluación del estudio.

El protocolo de terapia ocupacional incluirá sesiones de entrenamiento del agarre utilizando figuras 3D y ejercicios adaptados a las necesidades individuales de los pacientes.

Se realizarán evaluaciones pre y post-intervención para medir el control motor del agarre, la funcionalidad de la mano, la calidad de vida relacionada con la salud y la satisfacción con el tratamiento.

Descripción de las Figuras 3D: (Anexo 1)

1. Material: Las figuras serán impresas en 3D utilizando filamentos de alta calidad, que ofrezcan durabilidad y resistencia. Algunas figuras podrán estar revestidas con materiales adicionales para simular diferentes texturas, como goma o tela.
2. Textura: Las figuras presentarán diversas texturas, desde superficies lisas hasta rugosas, para estimular la retroalimentación sensorial.
3. Forma y Tamaño: Se utilizarán figuras de distintas formas simulando objetos de la vida diaria (esféricas, cúbicas, cilíndricas, etc.) y tamaños para desafiar y mejorar la capacidad de manipulación del paciente.
4. Peso: Las figuras serán moduladas en peso, variando desde ligeras hasta más pesadas, para entrenar la fuerza del agarre y la resistencia.

Evaluación:

Para medir la efectividad del protocolo, se utilizarán las siguientes escalas y cuestionarios:

Función motora

- **Action Research Arm Test (ARAT):**
 - Descripción: Mide la capacidad del paciente para manipular objetos de diferentes tamaños, pesos y formas.
 - Puntuación: 19 pruebas que se califican de 0 a 3, con una puntuación máxima de 57.

- Validez: Buena validez interna en la evaluación de la función motora del brazo en pacientes con ictus en la etapa crónica (Ward et al., 2019; Nomikos et al., 2018).
- **Evaluación Fugl-Meyer:**
 - Descripción: Evalúa la recuperación motora en cuatro dominios: función motora, equilibrio, sensibilidad y movilidad articular, y dolor.
 - Puntuación: 113 ítems en una escala ordinal de tres puntos, con una puntuación máxima de 226.
 - Validez: Amplio uso y validación en pacientes post-ictus (Fugl-Meyer et al., 1975).
- **Prueba de función motora de Wolf (WMFT):**
 - Descripción: Mide la capacidad motora de las extremidades superiores con 17 tareas divididas en tareas funcionales, fuerza y calidad de movimiento.
 - Puntuación: Escala de 6 puntos.
 - Validez: Estándar en la evaluación de la función motora post-ictus (Wolf et al., 2001).

Fuerza muscular

- **Fuerza de prensión manual:**
 - Descripción: Mide la fuerza general de prensión de la mano mediante un dinamómetro.
 - Validez: Buena fiabilidad y uso frecuente en estudios de rehabilitación (Bohannon, 1997).

Destreza manual

- **Box and Block Test (BBT):**
 - Descripción: Mide la destreza manual moviendo bloques de madera de un lado de una caja a otro en 60 segundos.
 - Validez: Prueba estándar para medir la destreza manual.
- **Nine Hole Peg Test (NHPT):**
 - Descripción: Mide la destreza manual sacando y colocando clavijas en un tablero lo más rápido posible.
 - Validez: Utilizada ampliamente en la evaluación de destreza manual.

Sensibilidad

- **Monofilamentos de Semmes –Weinstein** (Bell-Krotoski & Tomancik, 1987)

Cuestionario de satisfacción:

Se diseñará un cuestionario específico para evaluar la satisfacción del paciente con el protocolo de intervención, cubriendo aspectos como la percepción de mejora, la comodidad con las actividades y la relevancia de las tareas para la vida diaria.

3.5 Plan de intervención

Los pacientes recibirán sesiones de terapia ocupacional de 60 minutos, tres veces por semana, durante 12 semanas. Cada sesión incluirá:

Calentamiento: Ejercicios de movilidad y estiramiento de las extremidades superiores.

Actividades de Manipulación: Uso de figuras 3D para realizar tareas específicas como agarrar, soltar, apretar y mover objetos.

Actividades Funcionales: Tareas que simulan AVD, como abrir frascos, usar utensilios de cocina y manipular herramientas.

Semana 1-4:

- Introducción y familiarización con las figuras 3D.
- Evaluaciones iniciales de función motora, fuerza y destreza.

Semana 5-8:

- Aumento gradual de la complejidad de las tareas.
- Incorporación de actividades que simulan AVD.

Semana 9-12:

- Enfoque en la transferencia de habilidades a tareas funcionales diarias.
- Evaluaciones finales para medir el progreso y ajustar el protocolo según sea necesario.

3.6 Evaluación sistemática y recogida de resultados

Se compararán los cambios en el control motor del agarre, la funcionalidad de la mano, la calidad de vida y la satisfacción del tratamiento entre los dos grupos semanales y finales.

Se realizarán análisis estadísticos para determinar la significancia de las diferencias observadas y la efectividad del protocolo de terapia ocupacional basado en figuras 3D.

Resultados esperados:

Mejora en el control motor del agarre: Aumento significativo en las puntuaciones de las escalas de evaluación del control motor del agarre.

Mejora en la capacidad de los pacientes para manejar objetos de la vida diaria al regresar a sus hogares.

Reducción de la frustración y aumento de la independencia: Mayor confianza y autonomía en la realización de actividades cotidianas.

4. CONCLUSIONES

El diseño de este protocolo de investigación tiene como objetivo desarrollar y evaluar una intervención de terapia ocupacional innovadora para mejorar el control motor del agarre en pacientes con ictus. Al incorporar la usabilidad de figuras 3D, se espera optimizar la efectividad y la motivación del tratamiento, proporcionando beneficios significativos para la rehabilitación y la calidad de vida de los pacientes.

La implementación de un protocolo que utilice este tipo de figuras se fundamenta en principios de neuroplasticidad y en la evidencia de que una estimulación sensorial y motora rica puede facilitar la recuperación funcional. Los criterios de inclusión y exclusión basados en la *CIMT* garantizan que los pacientes más adecuados sean seleccionados, y la evaluación con el *ARAT* permitirá medir de manera objetiva los avances en la rehabilitación.

5. AGRADECIMIENTOS Y OPINIÓN

En este trabajo de fin de máster, he explorado un poco más lo increíble que es el cuerpo humano. Este campo no solo me apasiona profundamente, sino que también representa un reto, debido a la intrincada red de procesos internos que se encuentran en juego. Entender cómo el cerebro y el sistema nervioso controlan algo tan aparentemente sencillo como el agarre, especialmente después de un evento tan devastador como un ictus, requiere un enfoque minucioso y una apreciación profunda de la biología humana.

Además de los aspectos puramente mecánicos y neurológicos, es fundamental considerar la dimensión volitiva y emocional del paciente. La recuperación y rehabilitación no dependen únicamente de la funcionalidad física; la motivación, la voluntad y el estado emocional juegan un papel crucial. Los pacientes que encuentran sentido y propósito en su rehabilitación, que están emocionalmente apoyados y motivados, suelen mostrar mejores resultados. Este fenómeno subraya la importancia de un enfoque holístico en la recuperación, donde el paciente es visto como un ser completo y no solo como un conjunto de síntomas que tratar.

Sin embargo, a pesar de los avances realizados hasta hoy, queda mucho por investigar. Cada paciente con ictus es único, y sus trayectorias de recuperación pueden variar significativamente. La ciencia del control motor sigue desentrañando los misterios de cómo el cerebro se reorganiza y se adapta tras una lesión, y cada nuevo descubrimiento abre puertas

a mejores métodos de rehabilitación y tratamientos más personalizados. La innovación y la disposición a probar caminos no convencionales pueden conducir a descubrimientos significativos y avances en el tratamiento y la rehabilitación de los pacientes con ictus.

Espero sinceramente que este trabajo haya conseguido transmitir no solo la complejidad y belleza del control motor, sino también la importancia de una aproximación integral en el tratamiento de pacientes con ictus. A través de la investigación continua y la dedicación. Considero que este enfoque abierto es esencial para avanzar en nuestro conocimiento y mejorar las prácticas clínicas. Solo así podremos realmente entender y ayudar de manera efectiva a quienes más lo necesitan.

5. BIBLIOGRAFIA :

1. Purroy F, Montalà N. Epidemiology of stroke in the last decade: a systematic review. *Rev Neurol*. 2021 Nov 1;73(9):321-336.
2. Soto A, Guillén-Grima F, Morales G, Muñoz S, Aguinaga-Ontoso I, Fuentes-Aspe R. [Prevalence and incidence of ictus in Europe: systematic review and meta-analysis]. *An Sist Sanit Navar*. 2022 Apr 28;45(1):e0979
3. Grotta, J. C., Albers, G. W., Broderick, J. P., Day, A. L., Kasner, S. E., Lo, E. H., ... & Wong, L. K. (2022). *Ictus: Fisiopatología, diagnóstico y abordaje: Patofisiología, diagnóstico y manejo*. Elsevier Health Sciences.
4. Duarte, E., Alonso, B., Fernández, M. J., Fernández, J. M., Flórez, M., García-Montes, I., ... & Soler, A. (2010). Rehabilitación del ictus: modelo asistencial. Recomendaciones de la Sociedad Española de Rehabilitación y Medicina Física, 2009. *Rehabilitación*, 44(1), 60-68.

5. Powers, W. J., Rabinstein, A. A., Ackerson, T., Adeoye, O. M., Bambakidis, N. C., Becker, K., ... & Hemphill Jr, J. C. (2019). Guidelines for the Early Management of Patients With Acute Ischemic Stroke: 2019 Update to the 2018 Guidelines for the Early Management of Acute Ischemic Stroke: A Guideline for Healthcare Professionals From the American Heart Association/American Stroke Association. *Stroke*, 50(12), e344-e418.
6. Benjamin, E. J., Virani, S. S., Callaway, C. W., Chamberlain, A. M., Chang, A. R., Cheng, S., ... & Muntner, P. (2019). Heart disease and stroke statistics—2019 update: a report from the American Heart Association. *Circulation*, 139(10), e56-e528.
7. Rabinstein, A. A. (2017). Update on treatment of acute ischemic stroke. *Continuum: Lifelong Learning in Neurology*, 23(1), 15-34.
8. Gorelick, P. B., Furie, K. L., Iadecola, C., Smith Jr, E. E., Waddy, S. P., Lloyd-Jones, D. M., ... & van Gaal, S. (2019). Defining optimal brain health in adults: a presidential advisory from the American Heart Association/American Stroke Association. *Stroke*, 50(3), e68-e86.
9. O'Donnell, M. J., Chin, S. L., Rangarajan, S., Xavier, D., Liu, L., Zhang, H., ... & Yusuf, S. (2016). Global and regional effects of potentially modifiable risk factors associated with acute stroke in 32 countries (INTERSTROKE): a case-control study. *The Lancet*, 388(10046), 761-775.
10. Hemphill Jr, J. C., Greenberg, S. M., Anderson, C. S., Becker, K., Bendok, B. R., Cushman, M., ... & Macdonald, R. L. (2015). Guidelines for the management of spontaneous intracerebral hemorrhage: a guideline for healthcare professionals from the American Heart Association/American Stroke Association. *Stroke*, 46(7), 2032-2060.
11. Al-Shahi Salman, R., White, P. M., Counsell, C. E., du Plessis, J., van Beijnum, J., Josephson, C. B., ... & Klijn, C. J. (2014). Outcome after conservative management or intervention for unruptured brain arteriovenous malformations. *JAMA*, 311(16), 1661-1669.
12. Connolly Jr, E. S., Rabinstein, A. A., Carhuapoma, J. R., Derdeyn, C. P., Dion, J., Higashida, R. T., ... & Vespa, P. (2012). Guidelines for the management of aneurysmal subarachnoid hemorrhage: a guideline for healthcare professionals from the American Heart Association/American Stroke Association. *Stroke*, 43(6), 1711-1737.
13. Campos-Mojena R, Marín-Prida J, Piniella-Matamoros B, Pardo-Andreu GL, Pentón-Rol G. ISQUEMIA CEREBRAL: MECANISMOS FISIOPATOLÓGICOS Y OPORTUNIDADES TERAPÉUTICAS. *Revista de Ciencias Farmacéuticas y Alimentarias*. 2016;2(1): 1-17
14. Messe, S. R., Khatri, P., Reeves, M. J., Smith Jr, E. E., Saver, J. L., Bhatt, D. L., ... & Goldstein, L. B. (2021). Guidelines for the early management of patients with acute ischemic stroke. *Stroke*, 52(7), e259-e350
15. Cano-de-la-Cuerda, R., Molero-Sánchez, A., Carratalá-Tejada, M., Alguacil-Diego, I. M., Molina-Rueda, F., Miangolarra-Page, J. C., & Torricelli, D. (2015). Teorías y modelos de control y aprendizaje motor. Aplicaciones clínicas en neurorrehabilitación. *Neurología*

16. Champney, Thomas. *Neuroanatomía Clínica esencial*. Médica Panamericana. 2017.
17. David I. Felten y anil N Shetty. *Atlas de neurociencia Netter*. Masson. Elsevier 2010.
18. Cardinelli P. Daniel. *Neurociencia aplicada sus fundamentos*. 1ª edición. Buenos Aires. Médica Panamericana. 2007
19. Kapandji, A. I. (1998). *Fisiología articular*. Médica Panamericana.
20. Flanagan, J. R., Bowman, M. C., & Johansson, R. S. (2006). Control strategies in object manipulation tasks. *Current opinion in neurobiology*, 16(6), 650-659.
21. Flanagan, J. R., & Wing, A. M. (1997). The role of internal models in motion planning and control: Evidence from grip force adjustments during movements of hand-held loads. *Journal of Neuroscience*, 17(4), 1519-1528.
22. Schwartz, J. K., Fermin, A., Fine, K., Iglesias, N., Pivarnik, D., Struck, S., Varela, N., & Janes, W. E. (2019). Methodology and feasibility of a 3D printed assistive technology intervention. *Disability and Rehabilitation: Assistive Technology*.
23. Garcia-Porrero, J.A. *Neuroanatomía humana*. Médica Panamericana. 2015.
24. Johansson, R. S., Flanagan, J. R., & Johansson, R. S. (2009). Sensory control of object manipulation. *Sensorimotor control of grasping: Physiology and pathophysiology*, 141-160.
25. O'Shea, H., & Redmond, S. J. (2021). A review of the neurobiomechanical processes underlying secure gripping in object manipulation. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 123, 286-300.
26. Michaels, J. A., Schaffelhofer, S., Agudelo-Toro, A., & Scherberger, H. (2020). A goal-driven modular neural network predicts parietofrontal neural dynamics during grasping. *Proceedings of the national academy of sciences*, 117(50), 32124-32135.
27. Kandel, E. R., Schwartz, J. H., & Jessell, T. M. (2013). *Principles of Neural Science* (5th ed.). McGraw-Hill.
28. Schmidt, R. A. (1975). A Schema Theory of Discrete Motor Skill Learning. *Psychological Review*, 82(4), 225-260.
29. Krakauer, J. W. (2006). Motor Learning: Its Relevance to Stroke Recovery and Neurorehabilitation. *Current Opinion in Neurology*, 19(1), 84-90.
30. Krakauer, J. W. (2006). Motor learning: its relevance to stroke recovery and neurorehabilitation. *Frontiers in Human Neuroscience*, 7(225), 1-15.

31. Aub, E., Uswatte, G., & Pidikiti, R. (1999). Constraint-Induced Movement Therapy: A new family of techniques with broad application to physical rehabilitation--A clinical review. *Journal of Rehabilitation Research and Development*, 36(3), 237-251
32. Ahn, J., Kim, H. y Park, C. (2019). Efectos de la vibración de todo el cuerpo sobre la función de las extremidades superiores y la fuerza de agarre en pacientes con accidente cerebrovascular subagudo: un ensayo controlado aleatorio, simple ciego. *Terapia Ocupacional Internacional*, 2019.
33. Riemann, B. y Lephart, S. (2002). El sistema sensoriomotor, parte II: el papel de la propiocepción en el control motor y la estabilidad funcional de las articulaciones. *Revista de entrenamiento atlético*, 37 1, 80-4.
34. Hermsdörfer, J., Blankenfeld, H., & Goldenberg, G. (2003). Visual feedforward control of the precision grip in a man with loss of proprioception. *Neuropsychologia*, 41(13), 1701-1713
35. Thrasher, T., Zivanovic, V., McIlroy, W. y Popovic, M. (2008). Rehabilitación de la función de alcance y agarre en pacientes hemipléjicos graves mediante terapia de estimulación eléctrica funcional. *Neurorrehabilitación y Reparación Neural*, 22, 706 - 714.
36. Hermsdörfer, J., Hagl, E., Nowak, D. y Marquardt, C. (2003). Control de la fuerza de agarre durante la manipulación de objetos en el accidente cerebrovascular. *Neurofisiología clínica*, 114, 915-929.
37. Miller, R. (1988). The representation of action in the human motor system: Hierarchical models and neural mechanisms. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 313(1168), 27-42
38. Kelso, J. A. S. (1995). *Dynamic patterns: The self-organization of brain and behavior*. MIT Press.
39. Kleim, J. A., & Jones, T. A. (2008). Principles of experience-dependent neural plasticity: Implications for rehabilitation after brain damage. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 51(1), S225-S239
40. Kawato, M. (1999). Internal models for motor control and trajectory planning. *Current Opinion in Neurobiology*, 9(6), 718-727
41. Stern, Y. (2009). Cognitive reserve. *Neuropsychologia*, 47(10), 2015-2028.
42. Ansaldo, A. I., Marcotte, K., Scherer, L., & Raboyeau, G. (2008). Language therapy and bilingual aphasia: Clinical implications of psycholinguistic and neuroimaging research. *Journal of Neurolinguistics*, 21(6), 539-557.
43. Winstein, C. J., Stein, J., Arena, R., Bates, B., Cherney, L. R., Cramer, S. C., ... & Zorowitz, R. D. (2016). Guidelines for adult stroke rehabilitation and recovery: a guideline for healthcare

professionals from the American Heart Association/American Stroke Association. *Stroke*, 47(6), e98-e169

44. Bolognini, N., Russo, C., & Edwards, D. J. (2016). The sensory side of post-stroke motor rehabilitation. *Restorative Neurology and Neuroscience*, 34(4), 571-586.

45. Bohannon, R. W. (1997). Reference values for extremity muscle strength obtained by hand-held dynamometry from adults aged 20 to 79 years. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 78(1), 26-32.

46. Fugl-Meyer, A. R., Jaasko, L., Leyman, I., Olsson, S., & Steglind, S. (1975). The post-stroke hemiplegic patient: A method for evaluation of physical performance. *Scandinavian Journal of Rehabilitation Medicine*, 7(1), 13-31.

47. Lyle, R. C. (1981). A performance test for assessment of upper limb function in physical rehabilitation treatment and research. *International Journal of Rehabilitation Research*, 4(4), 483-492

48. Nomikos, N. N., & Nomikos, G. N. (2018). Validity and reliability of the Action Research Arm Test in patients with chronic stroke. *Journal of Stroke and Cerebrovascular Diseases*, 27(4), 1024-1031.

49. Ward, N. S., Brander, F., & Kelly, K. (2019). Intensive upper limb neurorehabilitation in chronic stroke: Outcomes from a group feasibility study. *PLOS ONE*, 14(2), e0212021.

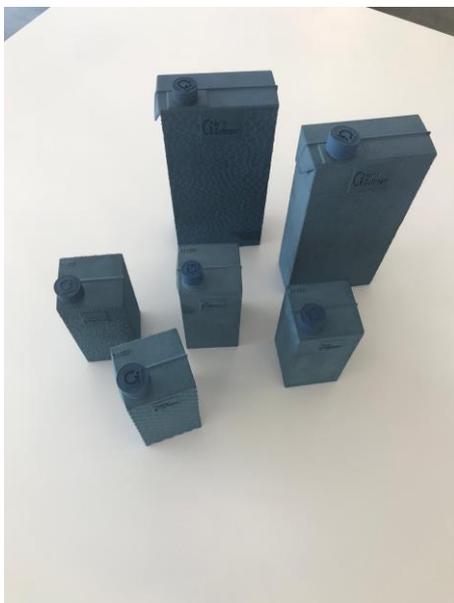
50. Wolf, S. L., Catlin, P. A., Ellis, M., Archer, A. L., Morgan, B., & Piacentino, A. (2001). Assessing Wolf Motor Function Test as outcome measure for research in patients after stroke. *Stroke*, 32(7), 1635-1639

51. Bell-Krotoski, J. A., & Tomancik, E. (1987). The repeatability of testing with Semmes-Weinstein monofilaments. *The Journal of Hand Surgery*, 12(2), 155-161.

52. Shumway-Cook, A., & Woollacott, M. H. (2017). *Motor control: Translating research into clinical practice* (5th ed.). Wolters Kluwer.

6. ANEXOS:

ANEXO 1: FIGURAS MODULADAS 3D:





ANEXO 2: ESCALAS/BATERÍAS DE EVALUACIÓN:

1. ARAT (Action Research Arm Test)



2. FUGL-MEYER

**VALORACIÓN DE FUGL-MEYER
EXTREMIDAD SUPERIOR (FMA-ES)**

Identificación:

Fecha:

Valoración de la función sensoriomotora

Examinador:

Fugl-Meyer AR, Jääskö L, Leyman I, Olsson S, Steglind S. The post-stroke hemiplegic patient. A method for evaluation of physical performance. Scandinavian Journal of Rehabilitation Medicine 1975, 7:13-31.

A. EXTREMIDAD SUPERIOR, posición sedente					
I. Actividad refleja		ning.	puede ser provocada		
Flexores: Biceps y flexores de los dedos (al menos uno)		0	2		
Extensores: Tríceps		0	2		
Subtotal I (máx. 4)					
II. Movimiento voluntario dentro de sinergias, sin ayuda gravitacional					
		ning.	parcial	total	
Sinergia flexora: Mano desde rodilla contralateral hasta oído ipsilateral. Desde la sinergia extensora (aducción de hombro/rotación interna, extensión del codo, pronación del antebrazo) hasta la sinergia flexora (abducción del hombro /rotación externa, flexión del codo, supinación del antebrazo).	Hombro	Retracción	0	1	2
		Elevación	0	1	2
		Abducción (90°)	0	1	2
	Codo	Rotación externa	0	1	2
		Flexión	0	1	2
	Antebrazo	Supinación	0	1	2
Sinergia extensora: Mano desde el oído ipsilateral hasta la rodilla contralateral	Hombro	Aducción/rotac. inter	0	1	2
	Codo	Extensión	0	1	2
	Antebrazo	Pronación	0	1	2
Subtotal II (máx. 18)					
III. Movimiento voluntario mezclando sinergias, sin compensación					
		ning.	parcial	total	
Mano hasta la columna lumbar Mano sobre regazo	No puede realizar, mano en frente a espina iliaca antero-superior		0		
	Mano detrás de espina iliaca antero-superior (sin compensación)			1	
	Mano hasta la columna lumbar (sin compensación)				2
Flexión de hombro 0°-90° Codo a 0°	Abducción inmediata o flexión de codo		0		
	Abducción o flexión de codo durante movimiento			1	
Pronación-supinación 0°	90° de flexión, no abducción de hombro ni flexión de codo				2
Pronación-supinación Codo a 90°	No pronación/supinación, imposible posición inicio		0		
	Pronación/supinación limitada, mantiene posición de inicio			1	
Hombro a 0°	Pronación/supinación completa, mantiene posición de inicio				2
Subtotal III (máx. 6)					
IV. Movimiento voluntario con poca o ninguna sinergia					
		ning.	parcial	total	
Abducción de hombro 0°-90° Codo a 0°	Supinación inmediata o flexión de codo		0		
	Supinación o flexión de codo durante movimiento			1	
Antebrazo pronado	90° de abducción, mantiene extensión y pronación				2
Flexión de hombro 90°-180° Codo a 0°	Abducción inmediata o flexión de codo		0		
	Abducción o flexión de codo durante movimiento			1	
Pronación-supinación 0°	Flexión de 180°, no abducción de hombro o flexión de codo				2
Pronación/supinación Codo a 0°	No pronación/supinación, imposible posición inicio		0		
	Pronación/supinación limitada, mantiene posición de inicio			1	
Hombro a flexión de 30°-90°	Pronación/supinación completa, mantiene posición de inicio				2
Subtotal IV (máx. 6)					
V. Actividad refleja normal evaluada solo si se logra puntaje total de 6 en parte IV					
Biceps, Tríceps, Flexores de dedos	0 puntos en parte IV o 2 de 3 reflejos marcadamente hiperactivos		0		
	1 reflejo marcadamente hiperactivo o al menos 2 reflejos enérgicos			1	
	Máximo de 1 reflejo enérgico, ninguno hiperactivo				2
Subtotal V (máx. 2)					
Total A. EXTREMIDAD SUPERIOR (máx. 36)					

PROTOCOLO FMA -ES Traducción de la versión original sueca del FMA, Universidad de Goteborg, Suecia
www.neurophys.gu.se/sektioner/klinisk-neurovetenskap/forskning/rehab_med/fugl-meyer

B. MUÑECA se puede dar apoyo en el codo para adoptar o mantener la posición, no apoyo en muñeca, verifique rango pasivo de movimiento antes de realizar prueba		ning.	parcial	total
Estabilidad a flexión dorsal de 15° Codo a 90°, antebrazo pronado Hombro a 0°	Flexión dorsal activa menor de 15° 15° de Flexión dorsal, no tolera resistencia Mantiene flexión dorsal contra resistencia	0	1	2
Flexión dorsal/volar repetida Codo a 90°, antebrazo pronado Hombro a 0° leve (flexión de los dedos)	No puede realizar voluntariamente Rango de movimiento activo limitado Rango de movimiento activo completo, fluido	0	1	2
Estabilidad a flexión dorsal de 15° Codo a 0°, antebrazo pronado Leve flexión/abducción de hombro	Flexión dorsal activa menor de 15° 15° de flexión dorsal, sin resistencia Mantiene posición contra resistencia	0	1	2
Flexión dorsal/volar repetida Codo a 0°, antebrazo pronado Leve flexión/abducción de hombro	No puede realizar voluntariamente Rango de movimiento activo limitado Rango de movimiento activo completo, fluido	0	1	2
Circunducción Codo a 90°, antebrazo pronado, hombro a 0°	No puede realizar voluntariamente Movimiento brusco o incompleto Circunducción completa y suave	0	1	2
Total B (máx. 10)				
C. MANO se puede dar apoyo en el codo para mantener flexión de 90°, no apoyo en la muñeca, compare con mano no afectada, los objetos están interpuestos, agarre activo		ning.	parcial	total
Flexión en masa	Desde extensión total activa o pasiva	0	1	2
Extensión en masa	Desde flexión total activa o pasiva	0	1	2
AGARRE				
a. Agarre de gancho flexión en IFP y IFD (dígitos II – V) Extensión en MCF II-V	No puede realizar Puede mantener posición pero débil Mantiene posición contra resistencia	0	1	2
b. Aducción de pulgar 1er CMC, MCF, IFP a 0°, trozo de papel Entre pulgar y 2da articulación MCF	No puede realizar Puede sostener papel pero no contra tirón Puede sostener papel contra tirón	0	1	2
c. Agarre tipo pinza, oposición Pulpejo del pulgar, contra pulpejo del 2 do dedo, se tira o hala el lápiz hacia arriba	No puede realizar Puede sostener lápiz pero no contra tirón Puede sostener lápiz contra tirón	0	1	2
d. Agarre cilíndrico Objeto en forma cilíndrica (pequeña lata) Se tira o hala hacia arriba con oposición en dígitos I y II	No puede realizar Puede sostener cilindro pero no contra tirón Puede sostener cilindro contra tirón	0	1	2
e. Agarre esférico Dedos en abducción/flexión, pulgar opuesto, bola de tenis	No puede realizar Puede sostener bola pero no contra tirón Puede sostener bola contra tirón	0	1	2
Total C (máx. 14)				
D. COORDINACIÓN/VELOCIDAD después de una prueba con ambos brazos, con los ojos vendados, punta del dedo índice desde la rodilla hasta la nariz, 5 veces tan rápido como sea posible		marcado	leve	ningu no
Temblor	Al menos 1 movimiento completo	0	1	2
Dismetría Al menos 1 movimiento completo	Pronunciada o asistemática Leve y sistemática No dismetría	0	1	2
		> 6s	2 - 5s	< 2s
Tiempo Inicio y final con la mano sobre la rodilla	Al menos 6 seg. más lento que el lado no afectado 2-5 seg. más lento que el lado no afectado Menos de 2 segundos de diferencia	0	1	2
Total D (máx. 6)				
Total A-D (máx. 6)				

Versión española: Hospital Militar Central, Universidad Nacional de Colombia
Barbosa NE, Forero SM, Galeano CP, Hernández ED, Landinez NS

2017-03-04

3. WOLF MOTOR FUNCTION TEST (WMFT)

Hoja de registro

Lado más afectado DER / IZQ

Lado menos afectado DER / IZQ

Tarea	Tiempo	FAS
a. Antebrazo a la mesa (de lado)		0 1 2 3 4 5
b. Antebrazo a la caja (de lado)		0 1 2 3 4 5
c. Extender el codo (de lado)		0 1 2 3 4 5
d. Extender el codo con peso (de lado)		0 1 2 3 4 5
e. Mano a la mesa (de frente)		0 1 2 3 4 5
f. Mano a la caja (de frente)		0 1 2 3 4 5
g. Colocar peso encima de la caja (de frente)		
h. Alcanzar y llevar hacia el cuerpo una pesa (de frente)		0 1 2 3 4 5
i. Levantar una lata vacía hacia la boca (de frente).		0 1 2 3 4 5
j. Levantar un lápiz (de frente)		0 1 2 3 4 5
k. Levantar un clip (de frente)		0 1 2 3 4 5
l. Poner 3 damas una encima de otra (de frente)		0 1 2 3 4 5

m. Dar la vuelta a 3 tarjetas (de frente)		0 1 2 3 4 5
n. Girar una llave a la izquierda y a la derecha (de frente)		0 1 2 3 4 5
o. Utilizar dinamómetro		
p. Doblar una toalla 2 veces (de frente)		0 1 2 3 4 5
q. Levantar una cesta y dejarla en una mesa		0 1 2 3 4 5

Puntuación total: _____

4. MONOFILAMENTOS SEMMES-WEINSTEIN

