

Programación y usabilidad de una aplicación móvil para Tablet para la valoración de la movilidad de los dedos y la mano

Natalia Palomar Cosin

Tutor: Valery Naranjo Ornedo

Cotutores: Roberto Llorens Rodríguez

Adrián Borrego González

Trabajo Fin de Grado presentado en la Escuela
Técnica Superior de Ingenieros de
Telecomunicación de la Universitat Politècnica de
València, para la obtención del Título de Graduado
en Ingeniería de Tecnologías y Servicios de
Telecomunicación

Curso 2016-17

Valencia, 5 de julio de 2017

A Roberto y a Valery, por permitirme desarrollar este proyecto, a Adrián por enseñarme a utilizar Unity y ayudarme en todo lo que he necesitado. A mi familia por haberme apoyado durante estos 4 años, a todas mis amigas, y en especial a Antonio por estar siempre ahí cuando lo he necesitado.

Resumen

Se entiende como un daño cerebral adquirido cualquier lesión que se produce en las estructuras cerebrales de individuos que han nacido sin ningún tipo de problema. Los déficits que se producen como consecuencia de un daño cerebral varían en intensidad y naturaleza según, entre otras cosas, del tamaño de la lesión y la zona lesionada. Así pues, desde el punto de vista cognitivo, son comunes los problemas de atención, memoria y planificación. Desde el punto de vista motor, son comunes problemas de equilibrio y movilidad de los miembros superiores, especialmente a nivel distal, es decir, de la destreza manual y de los dedos. Esta destreza es especialmente crítica para el manejo de objetos pequeños y para el agarre de objetos mayores. Las Tablet y otros dispositivos móviles permiten detectar los contactos de los dedos en la pantalla para, a partir de éstos, facilitar su interacción mediante toques o gestos. Esta capacidad de detectar los dedos, junto a la gran elevada precisión de los dispositivos, los hace especialmente interesantes para analizar la movilidad de los dedos. En el presente trabajo, por tanto, se ha desarrollado una batería de ejercicios que funcionan en dispositivos electrónicos multitáctiles y se ha evaluado la usabilidad de la aplicación de valoración desarrollada en una muestra de fisioterapeutas con experiencia en el campo de la neurorrehabilitación. Los resultados indican que el uso de esta tecnología para valoración de la movilidad de los dedos es factible y que, además, es posible diseñar herramientas usables para especialistas clínicos.

Resum

S'entén com un dany cerebral adquirit qualsevol lesió que es produeix en les estructures cerebrals d'individus que han nascut sense cap tipus de problema. Els dèficits que es produeixen com a conseqüència d'un dany cerebral varien en intensitat i naturalesa segons, entre altres coses, de la grandària de la lesió i la zona lesionada. Així, doncs, des del punt de vista cognitiu, són comuns els problemes d'atenció, memòria i planificació. Des del punt de vista motor, són comuns problemes d'equilibri i mobilitat dels membres superiors, especialment a nivell distal, és a dir, de la destresa manual i dels dits. Esta destresa és especialment crítica per al maneig d'objectes xicotets i per a la prensió d'objectes majors. Les Tablet i altres dispositius mòbils permeten detectar els contactes dels dits en la pantalla per a, a partir d'estos, facilitar la seua interacció per mitjà de tocs o gestos. Esta capacitat de detectar els dits, junt amb l'elevada precisió dels dispositius, els fa especialment interessants per a analitzar la mobilitat dels dits. En el present treball, per tant, s'ha programat una bateria d'exercicis que funcionen en dispositius electrònics multitàctils i s'ha avaluat la usabilitat de l'aplicació de valoració creada en una mostra de fisioterapeutes amb experiència en el camp de la neurorrehabilitació. Els resultats indiquen que l'ús d'esta tecnologia per a la valoració de la mobilitat dels dits és factible i que, a més, és possible dissenyar eines usables per especialistes clínics.

Abstract

An acquired brain damage is defined as any injury that occurs in the brain structures of individuals who have been born without any problem. Deficits after a brain damage may vary in intensity and nature depending on, among other things, the size of the lesion and the injured area. In the cognitive domain, deficits in attention, memory and planning are common sequelae. In the motor domain, the most common problems involve balance and mobility of the upper limbs, especially at the distal areas, that is, manual and finger dexterity. This skill is particularly critical for handling small-items and for the grasping of greater objects. Tablets and other mobile devices allow finger contacts to be detected on the screen to facilitate interaction by touches or gestures. This ability to detect the fingers, together with the high precision of the devices, makes them especially interesting to assess the mobility of the fingers. In the present work, we have developed a battery of exercises for multitouch electronic devices and we have assessed their usability in a sample of physical therapists with experience in neurorehabilitation. The results indicate that the use of this technology to assess the mobility of the fingers is feasible and, furthermore, usable for clinical specialists.

Contenido

Resumen	3
Resum	4
Abstract	5
Índice de tablas.....	8
Índice de figuras	9
Introducción	10
Destreza manual.....	10
Daño cerebral adquirido.....	10
Definición.....	10
Etiología	11
Alteraciones en la función del miembro superior y mano tras una lesión cerebral.....	13
Valoración de la función del miembro superior y mano.....	14
Escala y test clínicos	14
Dispositivos instrumentados	15
Dispositivos y aplicaciones móviles.....	17
Hipótesis y objetivos.....	18
Hipótesis	18
Objetivos.....	18
Aplicación de valoración.....	19
Software utilizado.....	19
Unity	19
Matlab.....	19
SQLite.....	20
Desarrollo realizado.....	20
Descripción general de la aplicación	20
Descripción de los ejercicios.....	23
Estudio de usabilidad.....	30
Participantes.....	30
Procedimiento	30
Resultados	31
Conclusiones.....	33
Referencias	34
Anexo I. Escalas y test clínicos de valoración de la función de las extremidades superiores y la mano	36
Purdue Pegboard Test	36
Crawford Small Parts Dexterity Test.....	36
The Chedoke Arm and Hand Activity Inventory	37
Functional Dexterity Test	38
Jebsen Hand Function Test.....	39
Nine Hole Peg Test.....	39
Box and Block Test.....	40

Minnesota Rate of Manipulation Test.....	40
Wolf Motor Function Test	41
Fugl-Meyer Assessment of Motor Recovery after Stroke	42
Anexo II. Descripción y funcionamiento de los ejercicios de valoración	43
Anexo III. Cuestionario utilizado en el estudio de usabilidad	46

Índice de tablas

Tabla 1. Factores determinantes de la repercusión sociosanitaria de las principales causas de DCA.....	11
Tabla 2. Características de la Tablet utilizada en el estudio de usabilidad	31
Tabla 3. Puntuaciones de cada terapeuta en el cuestionario de usabilidad.....	32
Tabla 4 Descripción y funcionamiento de los ejercicios de valoración.....	45

Índice de figuras

Figura 1. Anatomía de la mano humana: a) articulaciones y b) músculos.....	10
Figura 2. Fuerzas que intervienen en un traumatismo craneoencefálico	12
Figura 3. Clasificación de los ictus.....	13
Figura 4. Interacción con MusicGlobe	15
Figura 5. Mecanismo de detección de movimiento	16
Figura 6. Flujo de la aplicación.....	20
Figura 7. Pantalla principal.....	21
Figura 8. Pantalla de selección y creación de usuario	21
Figura 9. Formulario de registro de nuevo usuario	22
Figura 10. Pantalla de selección de ejercicios.....	22
Figura 11. Pantalla de resultados.....	23
Figura 12. Pantalla de información general	23
Figura 13. Ejercicio de tapping.....	24
Figura 14. Ejercicio de extensión analítica de los dedos.....	25
Figura 15. Ejercicio de pinza	26
Figura 16. Ejercicio de flexoextensión metacarpofalángica e interfalángica.....	27
Figura 17. Estimación de las medidas de la pantalla del móvil.....	29
Figura 18. Ejercicio de grafomotricidad	29
Figura 19. Ejercicio de coordinación oculo-manual.....	30
Figura 20. Purdue Pegboard Test.....	36
Figura 21. Crawford Small Parts Dexterity Test.....	37
Figura 22. Chedoke Arm and Hand Activity Inventory	38
Figura 23. Functional Dexterity Test	38
Figura 24. Jebsen Hand Function Test.....	39
Figura 25. Nine Hole Peg Test	40
Figura 26. Box and Block Test	40
Figura 27. Minnesota Rate of Manipulation Test.....	41

Introducción

Destreza manual

Se entiende por destreza manual la coordinación de los movimientos de las articulaciones que forman parte de la anatomía de la mano, la cual se consigue a partir de la activación de músculos pequeños inervados por el nervio radial, cubital y mediano (Figura 1).

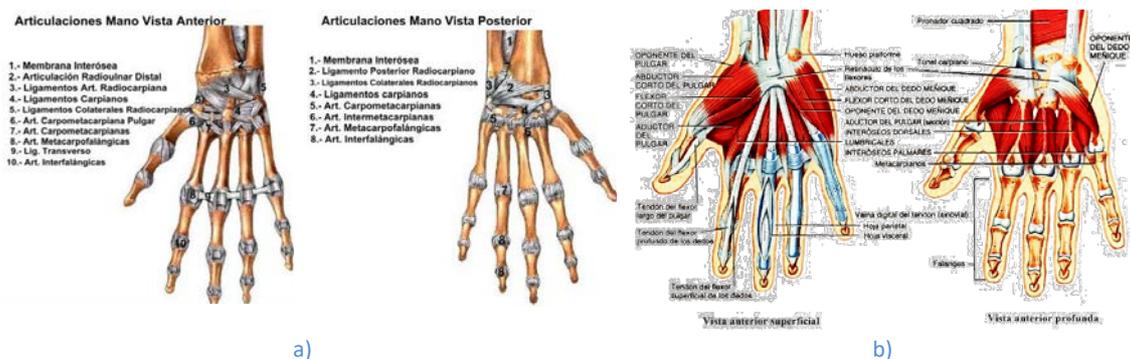


Figura 1. Anatomía de la mano humana: a) articulaciones y b) músculos.

La destreza manual requiere de coordinación rápida de los movimientos voluntarios finos y gruesos, basados en un cierto número de capacidades, las cuales se desarrollan a través del aprendizaje, el entrenamiento y la experiencia. En los programas de neurorrehabilitación tras un daño cerebral, así como en diferentes disciplinas del área de la salud, resulta indispensable establecer una correcta valoración de la destreza manual. La correcta evaluación de la destreza manual resulta fundamental para establecer objetivos, planificar tratamientos y evaluar la eficacia del plan terapéutico.

La destreza manual puede dividirse en dos tipos: la destreza gruesa y la destreza fina. La destreza manual gruesa, involucra movimientos menos refinados en los que se necesita menos precisión de la mano y de los dedos, como los implicados en la manipulación de objeto más grandes y cuya manipulación requiere movimientos más globales. La destreza fina se refiere a la habilidad de manipular objetos pequeños utilizando la parte distal de los dedos. Ésta involucra el movimiento rápido y preciso de los dedos.

Daño cerebral adquirido

Definición

Un daño cerebral adquirido (DCA) es cualquier lesión de las estructuras encefálicas en personas que, habiendo nacido sin ningún deterioro neurológico, sufren en un momento posterior de su vida, una lesión cerebral produciendo una pérdida (total o parcial) de funciones controladas por el cerebro que repercuten en una pérdida de autonomía personal y de calidad de vida.

Algunas lesiones provocadas por agentes externos son:

- Traumatismo craneoencefálico
- Encefalopatía por tóxicos (fármacos, drogas de abuso o sustancias químicas)
- Encefalopatía por agentes físicos (radiación ionizante, electrocución, hipertermia, hipotermia)
- Enfermedades infecciosas (encefalitis herpética)
- Algunas lesiones provocadas por agentes internos del cuerpo humano.
- Ictus isquémico o hemorrágico
- Encefalopatía anóxica (parada cardiorrespiratoria y otras)
- Neoplasias primarias o secundarias
- Enfermedades inflamatorias autoinmunes
- Enfermedades del tejido conectivo (como el lupus eritematoso sistémico, la enfermedad de Behçet, la vasculitis sistémica o aislada del sistema nervioso central, etc.)
- Enfermedad desmielinizante (como la esclerosis múltiple (brote agudo grave) o la encefalomiелitis aguda diseminada)

La importancia global de cada una de estas causas viene determinada por su repercusión sociosanitaria. Para estimarla, debemos considerar principalmente tres factores epidemiológicos. En primer lugar, su frecuencia global, tanto su incidencia (tasa de casos nuevos por año) como su prevalencia (tasa de casos totales acumulados en un momento dado); en segundo lugar, el perfil de la población afectada (edad, situación laboral, etc.); y finalmente, la gravedad de las deficiencias secundarias a la lesión. La repercusión sociosanitaria de cada una de las causas de DCA será mayor cuanto mayor sea su frecuencia, más joven la población afectada y más graves las deficiencias. De acuerdo a estos factores se puede definir un orden de importancia de las principales etiologías del DCA (Tabla 1).

Etiología	Traumatismo craneoencefálico	Ictus	Encefalopatía anóxica	Encefalitis herpética	Neoplasia
<i>Incidencia (nº/100000/año)</i>	Alta 200	Alta 190	Media-baja 20-30	Baja 0.4	Baja 5
<i>Discapacidad Modelada-grave en supervivientes (%)</i>	21	44	>50	>50	>50
<i>Perfil del afectado</i>	Activo <30 años	Pasivo >65 años	>50 años	Cualquier edad	Cualquier edad
<i>Repercusión sociosanitaria</i>	Alta	Alta	Media	Baja	Baja

Tabla 1. Factores determinantes de la repercusión sociosanitaria de las principales causas de DCA.

En resumen, los traumatismo craneoencefálicos (TCE) y los ictus son las dos causas más importantes de DCA, seguidos de la encefalopatía anóxica, siendo el resto de causas menos frecuentes, aunque puedan tener graves consecuencias para la salud y el funcionamiento del individuo. Debido a esto se analizarán los conceptos elementales y la epidemiología de las tres principales causas de DCA, antes mencionadas.

Etiología

Entre las causas más comunes de sufrir un DCA se encuentran los TCE y los ictus o

accidente cerebro-vasculares.

Un TCE es una alteración causada por una fuerza externa ejercida sobre el cráneo, bien por contacto directo (agresiones, caídas, golpes, accidentes deportivos, etc.) o por inercia (accidentes de tráfico). Las fuerzas por contacto directo suelen provocar una lesión focal (fractura, contusión, hematoma subdural o epidural), mientras que las fuerzas inerciales (dinámicas) causan lesiones por mecanismos de aceleración-desaceleración, que pueden dar lugar a lesiones focales (contusiones por el golpe y a distancia por el contragolpe) o difusas (daño axonal difuso) (Figura 2).



Figura 2. Fuerzas que intervienen en un traumatismo craneoencefálico

Los mecanismos de producción de la lesión encefálica en el TCE son variados. Se distingue entre daño cerebral primario y secundario. El daño primario es el que está directamente relacionado con el mecanismo y la energía desarrollada en el traumatismo, su sustrato anatomopatológico es la lesión celular, el desgarro y retracción de los axones y las alteraciones vasculares. Podemos dividir el daño cerebral primario a su vez en dos tipos: la lesión focal o contusión cerebral, y la lesión difusa. Esta puede tener dos formas, que a menudo coexisten: el daño axonal difuso y el edema cerebral. En cuanto al daño cerebral secundario, este puede producirse como consecuencia del efecto de lesiones externas al parénquima cerebral, como las hemorragias subdurales y epidurales, o bien a causa de las complicaciones sistémicas que pueden ocurrir en el TCE, como la hipotensión arterial, la hipoxemia, la hipertermia o las crisis comiciales.

En función del tiempo que dura el proceso isquémico se distingue entre el ataque isquémico transitorio, que consiste en un episodio breve, en general menos de una hora, de disfunción focal originado por isquemia cerebral o retiniana sin evidencia de infarto cerebral; y el infarto cerebral, cuando los síntomas neurológicos permanecen más de 24 horas, que evidencia la necrosis del tejido. Según su etiología, inferida de los mecanismos fisiopatológicos de producción sobre la base de la clínica y exámenes complementarios, se diferencian distintos subtipos de infarto cerebral: arterotrombótico, cardioembólico, lacunar, de causa rara y de origen indeterminado. El ictus hemorrágico supone una extravasación de sangre a la cavidad craneal por rotura de un vaso sanguíneo. Según su localización, podemos clasificar la hemorragia en parenquimatosa (lobar, profunda, troncoencefálica o cerebelosa), ventricular o subaracnoidea.

Sobre la incidencia del ictus (Figura 3) y centrándonos en nuestro entorno, un estudio

de base poblacional en seis países europeos, publicado en 2009 en la revista *Stroke* por el Registro Europeo de Investigadores en Ictus (*European Registers of Stroke Investigators, EROS*), establece una incidencia anual de ictus ajustada a la población europea que oscila entre 164,2 por 100.000 (IC 95 %: 131,0-203,7) en Sesto Fiorentino (Italia) y 398,0 por 100.000 (344,9-457,0) en Kaunas (Lituania). En este estudio se incluyó la población de Menorca, siendo la incidencia de ictus en la misma de 182,1 por 100.000 (147,0-223,3). El riesgo de un ictus en este estudio fue más de dos veces mayor en varones que en mujeres.

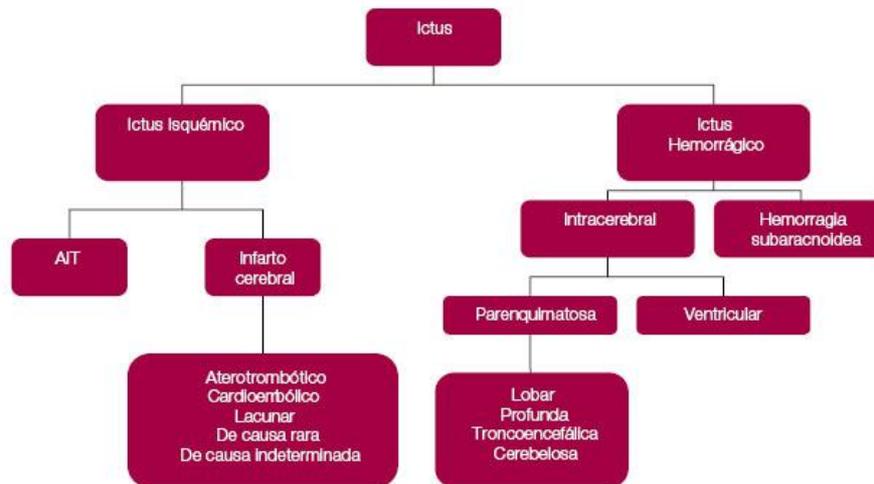


Figura 3. Clasificación de los ictus

Alteraciones en la función del miembro superior y mano tras una lesión cerebral

Las diferentes lesiones causadas por un accidente cerebrovascular presentan diferencias patológicas y fisiológicas, pero a pesar de esto presentan similitudes en cuanto a las alteraciones motoras. De entre todas las alteraciones motoras, la movilidad de la extremidad superior representa uno de los obstáculos más importantes para la recuperación. En un 85% de los casos, tras un accidente cerebrovascular existe un déficit en la función de los miembros superiores, y meses tras la lesión persisten problemas en el 55-75% de los pacientes. La recuperación de los miembros superiores es, por tanto, un reto para los programas de rehabilitación, presentando una mayor dificultad que la recuperación del equilibrio o la marcha, ya que casi tres de cada cuatro pacientes consiguen caminar. A diferencia de los miembros inferiores, la recuperación funcional de los miembros superiores incluye agarrar, sostener, señalar y manipular objetos, es decir, movimientos en los que están implicadas muchas articulaciones, desde el hombro hasta el codo, lo que hace particularmente compleja su recuperación.

En particular, algunos de los déficits motores más incapacitantes tras una lesión cerebral son las hemiparesias y la espasticidad. Por una parte, la hemiparesia es la debilidad muscular que afecta a un lado del cuerpo. La lateralidad de la afectación se debe a que la actividad motora de cada lado del cuerpo está controlada por el área contralateral del cerebro, es decir, por el hemisferio contralateral. Por lo tanto, en lesiones focales que afectan a las áreas motoras de un hemisferio, es común encontrar hemiparesias en las extremidades del lado contrario. Por otra parte, la espasticidad es

una alteración caracterizada por una pérdida del balance entre la contracción y relajación de los músculos que lleva a un estado rigidez y espasmos musculares involuntarios resultantes de mínimos estímulos internos o externos [1]. En su manifestación más severa, esta alteración puede provocar la inmovilización del paciente, fuertes dolores, dificultad o imposibilidad de higiene personal (incluso asistida), la dificultad o imposibilidad de transferencia a sillas de ruedas, luxaciones de miembros, múltiples ingresos hospitalarios debidos a éstas y otras complicaciones, y la inhabilitación laboral.

Tanto las hemiparesias como la espasticidad pueden tener, por tanto, un gran impacto negativo en la funcionalidad de la movilidad de los miembros superiores, lo cual, a su vez, afecta significativamente a la realización de las actividades de la vida diaria, y por tanto a la independencia y, en última instancia, a la calidad de vida.

Valoración de la función del miembro superior y mano

Escalas y test clínicos

Para la evaluación de estas habilidades en la clínica se utilizan escalas y test estandarizados que requieren que los pacientes realicen distintas tareas, las cuales son evaluadas y comparadas con el comportamiento de una muestra de sujetos sanos. Según esta comparación, los pacientes obtienen una puntuación que, en cierta manera, refleja su estado. Existen un gran número de escalas y test disponibles con características muy variables. Un resumen de las herramientas disponibles más utilizadas se muestra en el Anexo I. Si bien el uso de los test y escalas convencionales permiten la valoración de la destreza manual de manera relativamente rápida y sencilla, presentan algunas limitaciones.

Primero, su orientación es marcadamente funcional. Así pues, evalúan la capacidad de realizar una tarea, más allá de la calidad del movimiento. Por ejemplo, los resultados que se obtienen son el tiempo necesario en realizar una tarea, el número de elementos insertados en un orificio, etc. Sin embargo, no proporcionan datos precisos de la falta de movilidad ni información del movimiento de la destreza manual. Como muestra, el *Box and Block Test* evalúa el número de bloques que un paciente es capaz de pasar por encima de un panel vertical, pero sin embargo, no evalúa el rango de apertura y cierre de la mano (flexo-extensión metacarpofalángica), lo cual puede ser relevante en ciertas ocasiones [2].

Segundo, las pruebas funcionales pueden estar limitadas por una falta de precisión en sus medidas. Fijándonos de nuevo en el *Box and Block Test*, es posible que un paciente evaluado a lo largo del tiempo obtenga la misma puntuación en el test, pero, sin embargo, el rango articular del paciente haya mejorado. Además, es posible que pacientes con movilidad buena sufran un efecto techo al ser evaluados con test funcionales. Es decir, puede que los pacientes obtengan la máxima puntuación en un test, pero sin embargo puedan seguir mejorando su destreza manual.

Tercero, algunas pruebas funcionales pueden verse afectadas por factores subjetivos dependientes del examinador. Así, en aquellos test en los que el

experimentador debe evaluar la capacidad del paciente de realizar una tarea, pueden existir criterios distintos entre distintos evaluadores o incluso, entre distintos instantes evaluados por el mismo experimentador, lo cual puede definir la fiabilidad inter e intra-evaluador, respectivamente.

Finalmente, el coste de los test, en ocasiones sujetos a *copyright*, puede ser elevado para centros con recursos limitados. Por ejemplo, el *Purdue Pegboard Test* tiene un coste de 139 euros y el *Nine Hole Peg Test* de 157 euros. Además, los test convencionales pueden requerir de un amplio material para ser llevados a cabo o pueden no encontrarse fácilmente.

Dispositivos instrumentados

En los últimos años se han presentado distintos sistemas instrumentados para salir al paso de la falta de precisión de algunos test y pruebas clínicas convencionales.

Los dispositivos robóticos son sistemas instrumentados basados en exoesqueletos. Aunque el uso de estos dispositivos está orientado principalmente a la rehabilitación, algunos sistemas también permiten evaluar de manera muy precisa la fuerza de la presión de la mano mediante un sensor de fuerza, y la movilidad de las articulaciones de los miembros superiores, así como la cinemática de los movimientos, mediante sensores de posición, lo que resulta útil tanto en la práctica clínica diaria como en la investigación clínica. Además, las evaluaciones médicas basadas en robots podrían administrarse más rápidamente que las evaluaciones de comportamiento clínico, ahorrando tiempo al personal médico. [3] demostraron que las medias cinemáticas de los movimientos de las extremidades superiores realizadas durante la terapia robótica se correlacionaban bien con las medidas clínicas.

Para medir la destreza manual también se han empleado guantes instrumentados de bajo coste y nuevamente estos dispositivos de bajo coste han demostrado una excelente fiabilidad debido a su importante correlación con las pruebas clínicas. Un ejemplo de esta tecnología es *MusicGlobe* [4]. Se trata de un guante instrumentado que requiere que el usuario practique movimientos de agarre y movimientos con el dedo pulgar para interactuar con un juego de música (Figura 4).



Figura 4. Interacción con MusicGlobe

También existen dispositivos que monitorizan el movimiento discreto de la muñeca y la mano a través de un reloj sensorizado y un sistema de anillo magnético llamado

manómetro [5]. Con este dispositivo se pueden obtener los ángulos de las articulaciones de las muñecas y de los dedos, es decir, estimar la flexión/extensión de la muñeca, la desviación radial/ulnar y la extensión de la flexión del dedo alrededor de la articulación metacarpofalángica. Por lo que utilizando un imán permanente para producir señales en el dedo y un par de magnetómetros para recibir esas señales en la muñeca, se ha creado un mecanismo de detección de movimiento sin ataduras que puede ser incorporado en accesorios comunes como son un anillo y una banda de reloj (Figura 5).



Figura 5. Mecanismo de detección de movimiento

Los dispositivos robóticos son sistemas instrumentados basados en exoesqueletos que permiten conducir la mano para que ésta realice el movimiento adecuado, ayudando al hombro, antebrazo, codo, muñeca y movimiento de los dedos. Además, permiten evaluar la movilidad motora de estas articulaciones e identificar déficits motores. Este dispositivo permite una evaluación fácil y rápida de la cinemática de los miembros superiores, lo que resulta útil tanto en la práctica clínica diaria como en la investigación clínica. Los guantes pueden ser útiles como herramientas terapéuticas, ya que podrían ser utilizados para proporcionar un informe diario del uso de la mano y el brazo de manera que informa al usuario si está cumpliendo con las metas de movimiento diario.

Pese a que los distintos sistemas instrumentados, como los dispositivos robóticos o los guantes, permiten valorar con precisión la movilidad de las extremidades superiores y de la mano, el elevado coste de los dispositivos, así como el espacio requerido en la clínica y el tiempo necesario para su utilización limita su integración en el día a día clínico. Además, para que las terapias basadas en la tecnología sean aceptadas, los resultados que se obtengan deben ser consistentes con los resultados que se obtienen con otros métodos válidos como es el Fugl-Meyer Motor, que se describe en el Anexo I. Asimismo los resultados también deben ser validados con otras medidas anatómicas de la gravedad del accidente cerebrovascular, como la integridad del tacto corticoespinal a través de la neuroimagen. Por lo que la administración de medidas clínicas estandarizadas para evaluar la recuperación de los brazos y manos aumenta el coste y la tecnología empleada en estas terapias. El uso de puntuaciones de rendimiento en las terapias basadas en la tecnología como indicadores de la funcionalidad motora podría ser una alternativa viable a las evaluaciones estandarizadas, siempre que esas puntuaciones reflejen con precisión la función motora del brazo.

Dispositivos y aplicaciones móviles

Las tablets son dispositivos de visualización e interacción electrónicos capaces de detectar los toques y movimientos con los dedos de los usuarios y transformarlos en acciones específicas. Las tablets son dispositivos de bajo coste con un alto potencial que permite un aprendizaje por imitación proporcionando una retroalimentación multisensorial (visual, auditiva y táctil), asequibilidad y facilidad de implementación. De manera homóloga a los teléfonos inteligentes o *smartphones*, las tablets son capaces de ejecutar aplicaciones móviles o apps.

Las apps son aplicaciones *software* específicas que se encuentran disponibles en mercados virtuales alojados en internet. Las apps son herramientas ágiles, portátiles, virales y de uso muy generalizado entre la población mundial. El mercado de las aplicaciones es un sector en auge y, además, los terminales económicos favorecen que nuevos habitantes accedan al campo de las aplicaciones. Según los datos publicados durante el 2016 por una de las compañías de análisis de datos de aplicaciones móviles más importantes, App Annie, las descargas mundiales crecieron un 15% en 2016 en comparación con 2015 [6]. Además, también aumentó el tiempo total que los usuarios dedicaron a las aplicaciones. Pero mirando hacia el futuro, según la compañía Ovum, el mercado de las aplicaciones móviles crecerá 2.2 veces en los próximos años y se estima que el número de descargas aumentará hasta los 378 millones en 2020 [6].

Se conoce como eHealth al conjunto de herramientas que se emplean en el entorno sanitario en materia de prestación de información, prevención, diagnóstico, tratamiento, seguimiento, así como en la gestión de la salud, generalmente con el objetivo de ahorrar costes al sistema sanitario y mejorar la eficacia de éste. El sector mHealth, las herramientas eHealth con soporte en dispositivos móviles, es un sector emergente en nuestro país dado que actualmente más de la mitad de los españoles tienen un *Smartphone*. Además, estos dispositivos junto con las tablets están bien valorados por gran parte de la población debido a su portabilidad, su facilidad de uso, la interacción multitáctil que ofrecen y a multitud de funciones que proporcionan como la cámara, vídeo, geolocalización, teclado virtual, interacción con la voz, etc. así como la sincronización con otros dispositivos externos. En el App Store podemos encontrar hasta 40.000 apps bajo la etiqueta de “salud”, mientras que en el Google Play de Android hay 97. 000 aplicaciones en las diferentes categorías del área sanitaria, experimentando un gran crecimiento. Después de los juegos y las aplicaciones generales, se espera que su presencia crezca en un 23% anual en los próximos 5 años. Respecto a aplicaciones del ámbito de la neurorrehabilitación se han identificado 15 apps sobre hábitos saludables, 23 apps de valoración, 11 apps de tratamiento y 11 apps específicas en neurorrehabilitación [7] .De estas aplicaciones, un total de 32 apps están orientadas a pacientes, 25 a los profesionales sanitarios y 12 aplicaciones a ambos perfiles. En el caso de las apps informativas que aportan información para el paciente y guías de actuación destacan “Daño cerebral”, “Fisioterapia a tu alcance” e “iNeuro”.

Entre las aplicaciones de valoración destacan “Goniometer Pro” y “Dr. Goniometer”, que permiten evaluar el rango de movimiento a partir de medidas repetidas de ángulos, los cuales se obtienen mediante los sensores inerciales de los dispositivos móviles. Aunque estas aplicaciones permiten evaluar el rango de

movimiento de manera muy sencilla, está limitada a articulaciones de mayor tamaño, como hombro, rodillas, o hasta muñeca. Sin embargo, la movilidad de los dedos sigue siendo un reto para las aplicaciones móviles.

Una prueba de esta limitación queda evidenciada en la valoración de la escritura, habilidad en la cual los pacientes con DCA suelen presentar deficiencias, pues los movimientos realizados para escribir son particularmente vulnerables al ser una actividad altamente cualificada, compleja y coordinada, la cual ha sido descrita como la función motora fina más exigente compleja además de dibujar. En distintos estudios se han utilizado tablets para la evaluación de los movimientos de escritura junto con una pluma especial. La posición de la pluma sobre la tableta, la velocidad y la aceleración se midieron continuamente durante la escritura. En la prueba se pidió a los sujetos que realizaran una simple tarea de escritura tanto en papel como sin papel [8]. También se ha demostrado que medir el tamaño y el contenido de los dibujos realizados por los pacientes puede ayudar a revelar sus percepciones y predecir la recuperación. Para ello se pidió a los pacientes que dibujaran lo que pensaban que le ha habido sucedido a su cerebro utilizando un lápiz de tinta electrónica y una Tablet para, posteriormente, analizar parámetros como el tiempo de dibujo, velocidad de dibujo y presión de la pluma [9]. Aunque el potencial de estas herramientas es prometedor, todavía se requieren aplicaciones y estudios orientados a pacientes con DCA que garanticen su validez y fiabilidad en neurorrehabilitación.

Hipótesis y objetivos

Hipótesis

Las hipótesis del presente trabajo son que es posible utilizar dispositivos electrónicos multitáctiles para valorar cuantitativamente la movilidad de la mano en sujetos que han sufrido un daño cerebral adquirido y que la valoración mediante esta tecnología puede dar lugar a herramientas usables en la práctica clínica.

Objetivos

Los objetivos del presente trabajo son, por tanto, desarrollar una batería de pruebas y test que funcionen en dispositivos electrónicos multitáctiles y evaluar la usabilidad de la aplicación de valoración desarrollada en una muestra de fisioterapeutas con experiencia en el campo de la neurorrehabilitación.

Aplicación de valoración

Software utilizado

Unity

Unity 3D (Unity Technologies, San Francisco, CA, USA) es un software gráfico multiplataforma. Ayuda a desarrollar videojuegos para diversas plataformas mediante un editor y scripting. Está disponible como plataforma de desarrollo para Microsoft Windows®, OS X y Linux. Además, es accesible al público tanto de manera gratuita como profesional. La versión gratuita ofrece herramientas básicas para poder desarrollar juegos, mientras que la opción de pago ofrece todas las plataformas y herramientas profesionales. Unity proporciona un entorno amigable para programadores, artistas y diseñadores que permite crear aplicaciones para distintas plataformas y sistemas operativos en una única herramienta, sin obligar a programar el juego específicamente para cada una de ellas. Unity ofrece un editor visual que permite importar modelos 3D, texturas, imágenes, sonidos, etc. para poder crear luego los juegos con ellos. Además, incluye la herramienta de desarrollo MonoDevelop, con la que es posible crear *scripts* en JavaScript, C# y un dialecto de Python llamado Boo.

En la actualidad, Unity se postula como la herramienta de desarrollo de referencia con una gran popularidad especialmente interesante para aquéllos que no pueden permitirse desarrollar sus propios motores gráficos o herramientas de desarrollo de videojuegos propias. El enfoque de la compañía es democratizar el desarrollo de juegos, y crear un motor de videojuegos que pequeñas y grandes empresas pudieran utilizar por igual. Unity permite poner en marcha proyectos desde cero con la simple descarga de la aplicación desde la web de la plataforma [10], además de por su fácil aprendizaje y manejo ya que ofrece tutoriales gratuitos y respuestas, consejos e inspiración de otros usuarios.

Estas características hicieron esta herramienta especialmente idónea para el presente proyecto. Respecto a los lenguajes de programación que ofrece Unity, se eligió C# por su robustez y por la orientación a objetos. C# es un lenguaje de programación simple pero eficaz, orientado a objetos creado por Microsoft para su plataforma .NET. Fue el resultado de una evolución de los lenguajes C y C++. De ahí su nombre ya que el sostenido '#' señala que una nota está por encima de otra en términos de tonalidad, por lo que C# es superior a C+ y C++. El gran potencial de C# se basa en que combina los mejores elementos de múltiples lenguajes de amplia difusión como son C+, Java, Visual Basic o Delphi, debido a que el creador de C# también lo fue de otros lenguajes y entornos. El objetivo principal de este lenguaje es enlazar C++ y Visual Basic, ya que su sintaxis básica deriva de C++ pero simplificando muchas de las complejidades de este lenguaje y además emplea un modelo de objetos parecido al de Java. Permitiendo una fácil adaptación por parte de los programadores de C/C++/Java, ya que cualquier persona familiarizada con estos lenguajes de programación reconocerá al instante la sintaxis de llaves de C#

Matlab

Matlab es una herramienta de *software* matemático con un lenguaje de programación de alto nivel basado en matrices y vectores. Está orientada a desarrollar proyectos que

lleven implícitos complejos cálculos matemáticos y la visualización gráfica de los mismos. Está disponible para las plataformas Unix, Windows, Mac OS X y GNU/Linux. Matlab integra cálculo matricial, representación de datos y matrices, análisis numérico, implementación de algoritmos, creación de interfaces de usuario, capacidad de ejecución en múltiples plataformas y compatibilidad con otros lenguajes y dispositivos hardware.

En el ámbito académico y de investigación, es la herramienta estándar para los cursos introductorios y avanzados de matemáticas, ingeniería e investigación. En la industria, Matlab es la herramienta usada para el análisis, investigación y desarrollo de nuevos productos tecnológicos.

SQLite

SQLite es una herramienta de *software* libre y público, que implementa un sistema de gestión de bases de datos transaccionales SQL auto-contenido, sin servidor y sin configuración. Permite almacenar información en diversos dispositivos como puede ser un teléfono móvil de manera sencilla, eficaz y rápida. SQLite es una librería escrita en C, facilitando así la emigración a diversas plataformas de sistemas operativos y de dispositivos. Además está disponible en las principales plataformas (Windows, Mac OSX, Linux , OpenEmbedded, PalmOS, Symbian).

SQLite es un sistema completo de bases de datos que soporta múltiples tablas, índices, *triggers* y vistas. No requiere un servidor ya que lee y escribe directamente sobre archivos que se encuentran en el disco duro. El formato de la base de datos es multiplataforma y se puede utilizar el mismo archivo en un sistema de 32 y 64 bits.

Desarrollo realizado

Descripción general de la aplicación

En el presente trabajo se ha desarrollado una aplicación móvil para dispositivos Android formada por seis pruebas basadas en los test de destreza descritos en el Anexo I. La selección final de pruebas se consensuó con la coordinadora de fisioterapia y la directora clínica del Servicio de Neurorrehabilitación y Daño Cerebral del Hospital Nisa Valencia al Mar.

El flujo de la aplicación se muestra en la Figura 6.

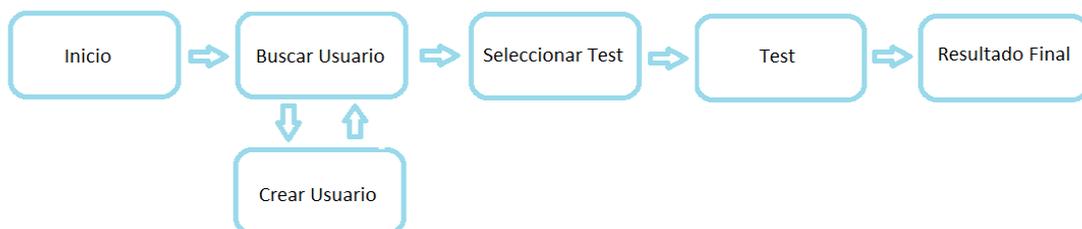


Figura 6. Flujo de la aplicación

La aplicación posee los idiomas castellano e inglés, que se seleccionan automáticamente según el idioma del sistema operativo. Si el idioma es alguno de los del territorio nacional, la aplicación se configura automáticamente en castellano. En otro caso, se configura en inglés.

A continuación, se describe cada uno de los pasos con mayor detalle. Al iniciar la aplicación aparece una pantalla inicial, que consta de distintos botones (Figura 7).



Figura 7. Pantalla principal

En la esquina superior izquierda se encuentra el icono de salida, que cierra la aplicación cuando se pulsa sobre él. La información general de la aplicación se proporciona pulsando sobre el botón de consulta, para el cual se utiliza el icono de interrogación, situado en la esquina inferior izquierda. Por último, en el centro de la pantalla aparece un botón que da acceso a la pantalla de selección de usuarios.

En esta pantalla es posible seleccionar un paciente, si ya se encuentra registrado en la base de datos o crear uno nuevo (Figura 8).



Figura 8. Pantalla de selección y creación de usuario

Si se elige esta última opción se accede a un formulario, cuyos datos se añadirán a la base de datos (Figura 9).

Datos del usuario

Nombre: Sexo:

Fecha de nacimiento:

Figura 9. Formulario de registro de nuevo usuario

Una vez seleccionado un usuario, la siguiente pantalla consiste en la selección de ejercicios (Figura 10). En esta pantalla se pueden seleccionar los ejercicios a realizar, los cuales se ejecutarán de manera secuencial. Al pulsar sobre el icono de interrogación, situado al lado de cada ejercicio, la aplicación muestra una breve descripción del test que se va a realizar.

Selecciona los ejercicios

Toques	<input checked="" type="checkbox"/>	?	Flexoextensión metacarpofalángica e interfalángica	<input type="checkbox"/>	?
Extensión analítica de los dedos	<input type="checkbox"/>	?	Grafomotricidad	<input type="checkbox"/>	?
Pinza	<input type="checkbox"/>	?	Coordinación óculo-manual	<input type="checkbox"/>	?

Figura 10. Pantalla de selección de ejercicios

Cuando se terminan de realizar todos los ejercicios se muestra la pantalla de resultados, donde se muestra una selección de los parámetros registrados en cada ejercicio (Figura 11). Además, la aplicación también genera automáticamente un documento en formato 'csv' con todos los parámetros de los test almacenándolo internamente en el dispositivo (si es un dispositivo Android, en la ruta '/Android/data/com.NRHB.VAL/files'). Además, la aplicación permite compartir los resultados mediante distintas herramientas, según las disponibles en el dispositivo.



Figura 11. Pantalla de resultados

Descripción de los ejercicios

A continuación, se describe de manera detallada cada uno de los ejercicios. Un resumen de la descripción y el funcionamiento de los ejercicios se muestra en el Anexo II.

Cabe destacar que antes de cada ejercicio se muestrea una pantalla con información general sobre la prueba que se va a realizar y una animación que ilustra el movimiento a realizar (Figura 12). Finalmente, tras pulsar el botón de siguiente la aplicación dará comienzo a la prueba en sí, la cual en los test con tiempo limitado constarán con una cuenta atrás.

Realiza el movimiento de la pinza con el dedo pulgar y el dedo indicado

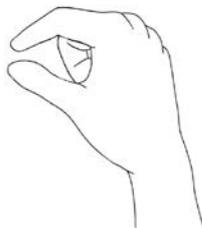


Figura 12. Pantalla de información general

Toques

Este ejercicio permite obtener el número de toques que puede realizar un sujeto sobre la pantalla en 10 s. Para su realización, el paciente presiona con un dedo sobre la pantalla del móvil (Figura 13). Cada vez que realiza este movimiento aparece un círculo rosa donde se ha producido, que hace las veces de *feedback*. El número de dedos que se detectan sobre la pantalla se controla con la función de Unity, 'Input.touchCount'. Por

ello, siempre que este parámetro sea uno (hay un dedo sobre la pantalla), se añadirá ese toque al número de toques total que realiza el paciente.

Los parámetros de salida de este ejercicio son a) el número de toques, b) el tiempo de reacción, el cual se corresponde al tiempo que transcurre desde el inicio de la prueba hasta el primer toque y c) los instantes en los que se realizan cada uno de los toques.



Figura 13. Ejercicio de tapping

Extensión analítica de los dedos

El procedimiento de este ejercicio fue ligeramente diferente al resto. Al iniciar el test el paciente debe colocar la mano sobre la pantalla con los dedos lo más extendidos posible e indicar a qué dedo corresponde cada toque detectado sobre la pantalla. Esto se realiza pulsando sobre el icono del dedo a valorar, situados en la parte izquierda de la pantalla, y realizando tres toques con el dedo correspondiente sin levantar los demás. Una vez hecho esto para cada uno de los dedos situados sobre la pantalla (Figura 14). que se quieran valorar, se pulsa el botón 'Siguiente' situado en la esquina inferior derecha. En la siguiente pantalla, que corresponde a la valoración propiamente dicha, aparecen botones correspondientes a los dedos que se han indicado en el paso anterior. Pulsando sobre los botones se debe realizar, tras una cuenta atrás de 3 segundos, el máximo número de toques posible en 10 s con el dedo indicado, manteniendo los demás dedos en contacto con la Tablet. Los parámetros de salida que se obtienen en este ejercicio para cada uno de los dedos son: a) el número de toques, b) el tiempo desde el inicio del ejercicio hasta el primer toque y c) los instantes en los que se realizan los toques.

Respecto a la programación, en este ejercicio se utiliza el evento '*onClick*' asociado a botones dispuestos en las localizaciones donde se calibraron los dedos. Este evento permite detectar solamente los toques de los dedos definidos y proporcionar *feedback* de cada pulsación.

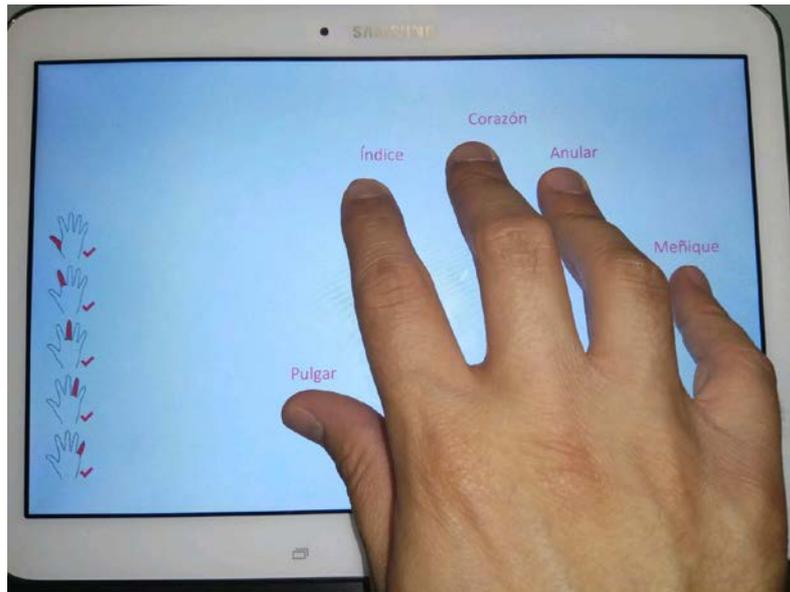


Figura 14. Ejercicio de extensión analítica de los dedos

Pinza

Este ejercicio registra la distancia mínima y máxima que un paciente puede realizar al juntar y separar los dedos haciendo el movimiento de pinza, respectivamente. En el ejercicio el paciente debe intentar tocar la punta del dedo pulgar con la punta del dedo que se indique arrastrando siempre los dedos por la pantalla, lo cual determina la distancia mínima, y separar los dedos lo máximo posible, de manera análoga, lo cual determina la distancia máxima.

El fisioterapeuta que supervisa al paciente mientras ejecuta la prueba debe decidir e indicar con qué dedos se realiza la pinza. Para ello el ejercicio dispone de cuatro botones en el lateral izquierdo, correspondientes a los dedos índice, medio, anular y meñique, que al ser pulsados inicializan los valores para esa pinza particular (Figura 15). El ejercicio registra a) la distancia mínima durante la flexión, b) la distancia máxima durante la extensión y c) el número de veces que el paciente levanta los dedos. Este último parámetro se controla evaluando si el número de dedos sobre la pantalla es constante e igual a dos durante el ejercicio o si ha variado el número de dedos sobre la pantalla durante la realización del ejercicio.

La distancia máxima y mínima se calcula haciendo que la posición de los dedos sobre la pantalla se corresponda con los extremos de un vector que une dichos dedos. De esta manera, la distancia entre ambos dedos será el módulo del vector. Para calcular el módulo, se empleó la función de Unity '*Magnitude*', que devuelve la longitud del vector, calculada como la norma 2. Por defecto, el resultado que se obtiene al usar esta función viene dado en píxeles, por lo que para poder obtener las distancias en cm se necesitan conocer el número de puntos por pulgadas (DPI) de la pantalla. Por defecto en Unity existe la función '*Screen.dpi*', que devuelve el DPI actual de la pantalla conectada o del dispositivo físico que ejecuta la aplicación. Sin embargo, en algunos dispositivos estos valores no son correctos, pues tienen que ser establecidos por el fabricante del dispositivo y además no son utilizados por el sistema operativo Android. En este sistema operativo, la función '*Screen.dpi*' devuelve '*densityDpi*', que es un cubo lógico que devuelve un rango de valores de DPI. Por ello, el uso de '*Screen.dpi*' no

garantiza que los valores que se obtengan sean correctos. Para solventar este problema se programó una función llamada 'GetDPI()' que permite determinar los DPI de la pantalla de manera más fiable.

Finalmente, para obtener las distancias en cm, se dividen los DPI del dispositivo entre el valor de una pulgada en cm, tal y como se muestra a continuación:

$$\frac{\text{distancia} * 2.54}{\text{GetDPI}()} = \frac{\text{píxeles} * 2.54 \frac{\text{cm}}{\text{pulgada}}}{\frac{\text{píxeles}}{\text{pulgada}}} = \text{distancia [cm]}$$

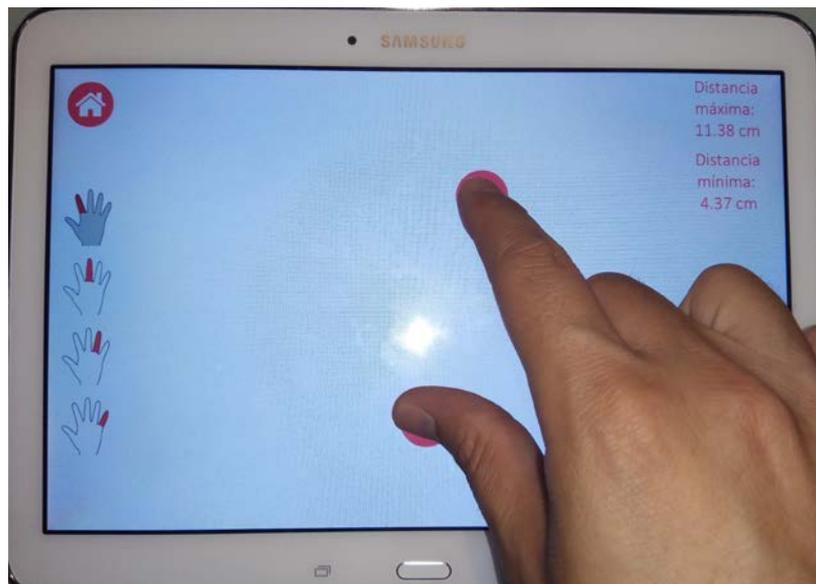


Figura 15. Ejercicio de pinza

Flexoextensión metacarpofalángica e interfalángica

Este ejercicio evalúa el área máxima y mínima que el paciente puede realizar extendiendo y flexionando los dedos, respectivamente. El ejercicio requiere que el paciente sitúe los dedos sobre la pantalla y realice una flexoextensión de las falanges (Figura 16). Cabe destacar que el ejercicio puede realizarse con los dedos en los que el paciente presenta movimiento activo. El ejercicio registra a) el área mínima, b) el área máxima, c) tiempo entre la ejecución de estos dos valores, y d) número de veces que se levantan los dedos.

Como *feedback* en pantalla aparecen unos círculos debajo de cada dedo que ha sido situado sobre la pantalla y una serie de líneas que unen un dedo con otro (Figura 16). Para ello en *Unity* se emplea el componente 'Line Renderer' que toma dos o más puntos y traza una línea recta entre ellos. De esta manera es posible unir los puntos definidos por las posiciones de los dedos en la pantalla y definir una figura geométrica irregular que representa al área que dibujan estas posiciones. Con respecto a la programación de esta funcionalidad cabe destacar que fue especialmente complejo conseguir que las líneas se dibujaran entre los dedos vecinos, y entre los dedos más laterales (índice y pulgar en una mano sana). Se añadieron a las líneas *colliders* para detectar colisiones. De esta manera fue posible detectar colisiones entre dos líneas, es

decir, cruces entre ellas, para, cuando esto ocurría, aleatorizar el orden con el que se busca el vecino más cercano e iterar este proceso hasta que no se producen cruces.

Para el cálculo del área del polígono irregular obtenido se utiliza el determinante de Gauss. En este procedimiento, se elige al azar uno de los vértices y se recorre el polígono en el sentido contrario a las agujas del reloj, teniendo en cuenta que el primer par de coordenadas corresponden al vértice elegido y que el último par debe volver a ser el par inicial. Sean los vértices del polígono las coordenadas (x,y) de los dedos sobre la pantalla, el área del polígono se calcula como:

$$\text{Área} = \frac{1}{2} \left(\begin{vmatrix} x_1 & x_2 \\ y_1 & y_2 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} x_2 & x_3 \\ y_2 & y_3 \end{vmatrix} + \dots + \begin{vmatrix} x_N & x_1 \\ y_N & y_1 \end{vmatrix} \right)$$

Este método es aplicable a cualquier polígono con cualquier número de lados. Adicionalmente también se calcula el perímetro máximo y mínimo de la superficie definida con los dedos.

En este test también se debió aplicar el procedimiento descrito anteriormente para el cambio de unidades entre píxeles y centímetros.

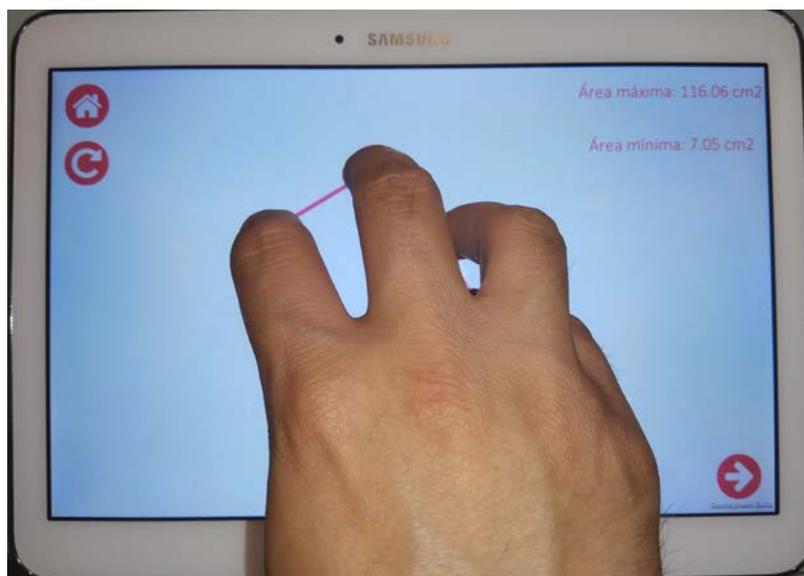


Figura 16. Ejercicio de flexoextensión metacarpofalángica e interfalángica

Grafomotricidad

Este ejercicio evalúa la habilidad grafomotriz de los usuarios a partir de la sobrescritura de los grafos 'M', 'S', '3' y una espiral. En la pantalla de la aplicación aparecen secuencialmente dichos grafos y el objetivo del ejercicio consiste en sobrescribirlos por encima con la mayor precisión posible, es decir, intentando cometer la menos desviación posible con respecto a los grafos (Figura 17). El ejercicio registra a) el error total realizado, b) la serie temporal de puntos dibujados, y c) el dibujo realizado.

Respecto a la programación, se utilizó Matlab para crear matrices de unos de tamaño 800x600, en las que se introdujeron valores cero en las posiciones específicas definidas por cada grafo. A continuación, se calculó la distancia entre cada elemento de la matriz con valor unidad y los elementos con valor nulo y se sustituyó el valor de dicho elemento de la matriz con el valor mínimo de estas distancias. Haciendo esto para todos

los elementos, se construyó la matriz distancia., en la que cada elemento representa la distancia mínima a un valor del grafo. Estas matrices se guardaron en formato '.csv' para ser leídas posteriormente desde Unity. Este procedimiento se repitió para los cuatro grafos. En Unity se creó una matriz de 800x600 que se rellenó usando las matrices generadas y se forzó a que las medidas del *canvas*, área donde se encuentran todos los elementos UI, fuera del mismo tamaño, haciendo corresponder cada posición x e y de la pantalla con una fila y una columna de la matriz. Así, cuando se dibuja sobre la tablet es posible conocer el error que se comete con respecto al grafo dibujado en la pantalla.

Para obtener este error en centímetros se tuvo que programar un método específico debido al hecho de trabajar en el *canvas* con un tamaño virtual de pantalla de 800x600. Para ello fue necesario obtener la DPI de la pantalla en función del tamaño de ésta en pulgadas y el número total de píxeles en las direcciones horizontales y verticales. Para ello, conociendo estos datos, se calculó

$$d_p = \sqrt{800^2 + 600^2}$$

$$d_i = \sqrt{(\text{width})^2 + (\text{height})^2}$$

,donde d_p es el tamaño de la resolución diagonal en píxeles y d_i es el tamaño de la diagonal de la pantalla en píxeles. Para obtener el ancho y alto de cada pantalla (Figura 17) en la que se ejecute el ejercicio se necesita la resolución original en píxeles de la pantalla y los DPI. La resolución se obtiene mediante las funciones '*Screen.width*' y '*Screen.height*', mientras que los DPI originales de la pantalla se obtienen mediante la función '*GetDPI()*' descrita anteriormente. Las medidas de la pantalla en centímetros se pueden calcular como

$$\text{width} = \frac{\text{Screen.width}}{\text{DPI} * 0.3937}$$

$$\text{height} = \frac{\text{Screen.height}}{\text{DPI} * 0.3937}$$

, donde los DPI para una resolución de pantalla de 800x600 se calculan como

$$\text{DPI} = \frac{d_p}{d_i}$$

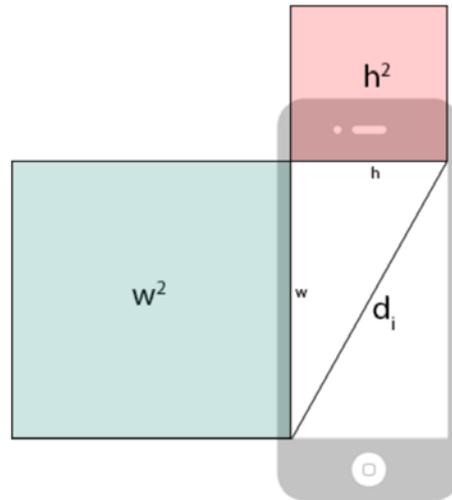


Figura 17. Estimación de las medidas de la pantalla del móvil

Por otra parte para obtener el dibujo del trazo realizado, se realizó una captura de pantalla del dibujo realizado (Figura 18). Para ello se utilizó la función `'Application.CaptureScreenshot("fileName.png")'`, que realiza una captura de pantalla y la almacena en la ruta `fileName` como un archivo `'.png'`.

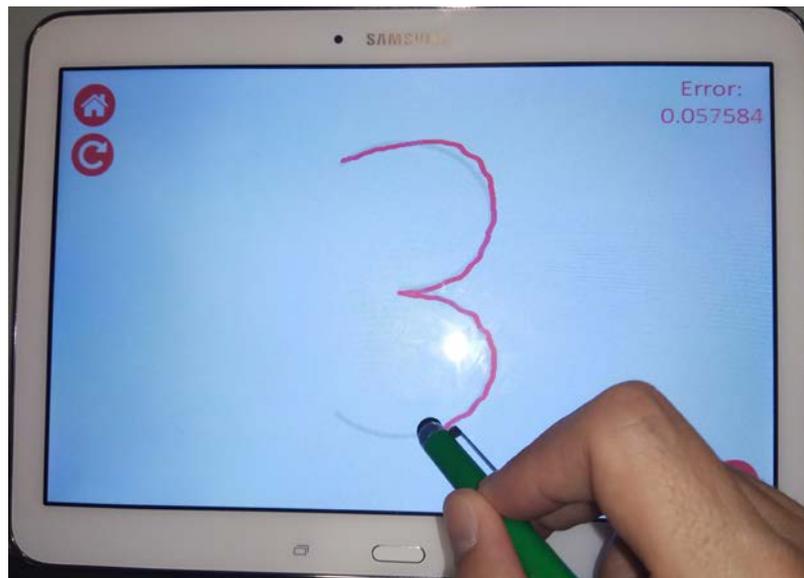


Figura 18. Ejercicio de grafomotricidad

Coordinación oculo-manual

Este ejercicio evalúa la coordinación oculo-manual y la pinza fina si se realiza mediante un lápiz para tablets. En el ejercicio desarrollado aparecen 32 puntos dispuestos según una rejilla 4x8 (Figura 19). El objetivo de este ejercicio consiste en pulsar sobre todos los puntos en el menor tiempo posible. Una vez se ha tocado sobre uno de los orificios, éste se inhabilita, lo cual se indica con un cambio de color. Como se ha comentado, el ejercicio se puede realizar con el dedo índice o con un lápiz para tablet, indicando en el ejercicio la opción elegida. En el caso de hacer el ejercicio con un lápiz, éste se debe coger de la mesa para realizar un toque y volverlo a dejar sobre ella, tras cada pulsación. Si se realiza el test con el dedo se deberá tocar también sobre la mesa con la mano que se está realizando el test. Para pulsar los puntos, se dispone de un minuto. El ejercicio

registra a) el tiempo que tarda el paciente en pulsar sobre todos los puntos, o el número de orificios pulsados si ha vencido el tiempo máximo de la prueba, b) el número de toques sobre la pantalla fuera de los puntos, y c) el instante en el que se realizan los toques sobre los orificios.

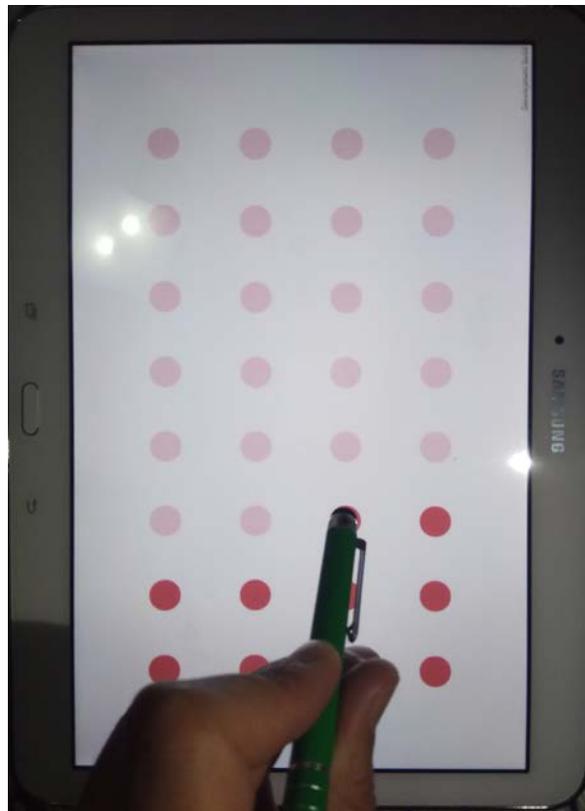


Figura 19. Ejercicio de coordinación oculo-manual

Estudio de usabilidad

Participantes

Todos los fisioterapeutas del Servicio de Neurorrehabilitación y Daño Cerebral del Hospital NISA Valencia al Mar fueron candidatos a participar en el estudio. Aquéllos con experiencia menor a 6 meses en neurorrehabilitación fueron excluidos.

De los fisioterapeutas del servicio, un total de 8 terapeutas, 7 mujeres y 1 hombre, con una edad media de 35.1 ± 3.7 y una experiencia en neurorrehabilitación de 102.8 ± 61.6 años, participaron en el estudio.

Procedimiento

El estudio se llevó a cabo en el gimnasio de fisioterapia del servicio. El procedimiento del estudio consistió en una breve descripción del proyecto y de la aplicación desarrollada. Seguidamente, se entregó una Tablet a los terapeutas, los cuales interactuaron con ella de manera libre durante 40 minutos, en grupos de 2, 3 o 4 personas.

Finalmente, tras este tiempo, se entregó el cuestionario *System Usability Scale*

para evaluar la usabilidad del sistema desarrollado. La escala proporciona una herramienta rápida y confiable, que se ha convertido en una de las opciones más estandarizadas para medir usabilidad. Consiste en un cuestionario de 10 preguntas con cinco opciones de respuesta para los encuestados. Fue originalmente creada por John Brooke en 1986 y permite evaluar una amplia variedad de productos y servicios, incluyendo hardware, software, dispositivos móviles, sitios web y aplicaciones. El cuestionario utilizado en el estudio está disponible en el Anexo III.

Las características de la Tablet se describen en la Tabla 2.

Marca	3Q
Series	RC1301C
Peso del producto	1,3 Kg
Dimensiones del producto	33,7 x 23 x 1,1 cm
Número de modelo del producto	RC1301C
Color	Negro
Factor de forma	Concha
Dimensión de la pantalla	13.3 pulgadas
Resolución de pantalla	1280 x 800 Pixeles
Máxima resolución de pantalla	1280x800
Fabricante del procesador	Rockchip
Velocidad del procesador	1.6 GHz
Número de procesadores	2
Tecnología de la memoria	DDR3-SDRAM
Tipo de memoria del ordenador	DDR3 SDRAM
Capacidad del disco duro	16 GB
Detalles de audio	3,5 mm
Tipo de conectividad	WiFi
Tipo de conexión inalámbrica	802.11b, 802.11g, 802.11n
Número de puertos USB 2.0	1
Voltaje	3.7 voltios
Sistema operativo	Android 4.1.1
Descripción de la batería	Polímero de litio
Contenido de energía de la batería de litio	10500 milliamp_hours
Peso de la batería de litio	695 gramos

Tabla 2. Características de la Tablet utilizada en el estudio de usabilidad

Resultados

Los terapeutas valoran la aplicación con una puntuación media de 79.7 ± 7.2 , lo cual supera el umbral de 68, que define la herramienta como usable. Los resultados de cada terapeuta se muestran con más detalle en la Tabla 3.

Terapeuta	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Total
1	5	2	4	3	5	2	4	2	4	2	80,0
2	4	2	4	1	4	2	4	2	4	2	77,5
3	4	3	4	2	3	2	3	2	3	2	65,0
4	4	1	5	3	4	3	5	2	4	2	77,5
5	4	2	4	1	4	2	5	1	4	1	85,0
6	3	1	4	1	4	2	5	1	4	2	82,5
7	4	1	5	2	4	3	5	2	4	2	80,0
8	4	1	5	2	5	2	5	1	5	2	90,0

Tabla 3. Puntuaciones de cada terapeuta en el cuestionario de usabilidad

Conclusiones

En el presente trabajo se ha realizado un estado del arte de los métodos de valoración de la funcionalidad y movilidad de miembros superiores y manos tras un daño cerebral adquirido, se ha diseñado una batería de seis pruebas para la valoración de la movilidad de las manos y dedos mediante tecnología multitáctil, se ha programado una aplicación formada por seis ejercicios que funciona en dispositivos Android y, finalmente, se ha evaluado la usabilidad de esta herramienta en una muestra de fisioterapeutas.

El diseño del protocolo de valoración se diseñó conjuntamente con los fisioterapeutas y la directora clínica del Servicio de Neurorrehabilitación y Daño Cerebral del Hospital Nisa Valencia al Mar. A diferencia de las escalas y test clínicos estandarizados, la aplicación de valoración desarrollada, permite a fisioterapeutas y demás especialistas clínicos obtener datos objetivos y concretos de la movilidad de los dedos y la mano. Por ejemplo, mediante la aplicación es posible determinar la medida exacta de la pinza que es capaz de hacer el paciente o el error que comete un paciente al dibujar un grafo en la pantalla. Además, la aplicación permite a los profesionales sanitarios tener acceso directo a los datos de los pacientes para así integrarlos en la valoración clínica para ofrecer un diagnóstico y tratamiento más completo. No en vano, existen pocos dispositivos tecnológicos (robots y guantes) destinados a evaluar la movilidad de los miembros superiores. Por ello, la aplicación desarrollada en el presente trabajo sale al paso de esta necesidad con la ventaja de su bajo coste. Todo ello, propició que fisioterapeutas con experiencia en el campo de la neurorrehabilitación valoraran la aplicación como una herramienta muy usable, y proporcionaran un *feedback* muy positivos.

La realización de este proyecto ha sido posible mediante la integración de distintas herramientas de programación, destacando el uso de Unity 3D para el desarrollo de los ejercicios, y, en menor medida, SQLite para la gestión de la base de datos. Cabe destacar que el uso de estas herramientas ha tenido que ser aprendido durante la realización del presente trabajo. Finalmente, la programación de algunos ejercicios se acompañó del uso de Matlab, herramienta estudiada durante el grado.

Referencias

- [1] "Terapia-Ocupacional.com: Artículos." [Online]. Available: <http://www.terapia-ocupacional.com/articulos/Espasticidad.shtml>. [Accessed: 28-Jun-2017].
- [2] B. H. Dobkin, P. Plummer-D'Amato, R. Elashoff, and J. Lee, "International randomized clinical trial, stroke inpatient rehabilitation with reinforcement of walking speed (SIRROWS), improves outcomes", *Neurorehabil. Neural Repair*, vol. 24, 2010.
- [3] A. McKenzie *et al.*, "Validity of Robot-based Assessments of Upper Extremity Function Alison", *Arch. Phys. Med. Rehabil.*, 2017.
- [4] N. Friedman *et al.*, "Retraining and assessing hand movement after stroke using the MusicGlove: comparison with conventional hand therapy and isometric grip training", *J. Neuroeng. Rehabil.*, vol. 11, no. 1, p. 76, 2014.
- [5] J. B. Rowe, N. Friedman, M. Bachman, and D. J. Reinkensmeyer, "The Manumeter: A non-obtrusive wearable device for monitoring spontaneous use of the wrist and fingers", in *2013 IEEE 13th International Conference on Rehabilitation Robotics (ICORR)*, 2013, pp. 1–6.
- [6] "The App Analytics and App Data Industry Standard - App Annie" [Online]. Available: <https://www.appannie.com/en/>. [Accessed: 03-Jul-2017].
- [7] M.T. Sánchez Rodríguez, S. Collado Vázquez, P. Martín Casas, R. Cano de la Cuerda, "Apps en neurorrehabilitación. Una revisión sistemática de aplicaciones móviles", *Neurología* p. 14, 2015.
- [8] O. Tucha *et al.*, "Kinematic analysis of dopaminergic effects on skilled handwriting movements in Parkinson's disease", *J. Neural Transm.*, vol. 113, no. 5, pp. 609–623, 2006.
- [9] K. Grünich, V. Garcia-Hoyos, C. Stinear, S. Ackerley, J. Tiemensma, and E. Broadbent, "Kinematic measures of brain drawings are associated with illness perceptions in people with stroke", *Int. psychogeriatrics*, vol. 28, no. 10, pp. 1637–42, 2016.
- [10] "Unity - Game Engine" [Online]. Available: <https://unity3d.com/es/>. [Accessed: 30-Jun-2017].
- [11] R. G. Brown, M. Jahanshahi, "An unusual enhancement of motor performance during bimanual movement in Parkinson's disease", *J Neurol Neurosurg Psychiatry*, vol. 64, no. 6, pp. 813-816, 1988.
- [12] A. M. Boyle and J. C. Santelli, "Assessing psychomotor skills: the role of the Crawford Small Parts Dexterity Test as a screening instrument", *J. Dent. Educ.*, vol. 50, no. 3, pp. 176–179, 1986.
- [13] S. Barreca *et al.*, "Development of the Chedoke Arm and Hand Activity Inventory: Theoretical Constructs, Item Generation, and Selection", *Top. Stroke Rehabil.*, vol. 11, no. 4, pp. 31–42, 2004.
- [14] D. H. Aaron and C. W. S. Jansen, "Development of the Functional Dexterity Test (FDT): Construction, validity, reliability, and normative data", *J. Hand Ther.*, vol. 16, no. 1, pp. 12–21, 2003.
- [15] R.H. Jebsen *et al.*, "An Objective and Standardized Test of Hand Function", *Arch Phys Med Rehabil*, vol. 50, no. 6, pp. 311-318, 1969.
- [16] V. Mathiowetz, K. Weber, N. Kashman, and G. Volland, "Adult norms for the Nine

- Hole Peg Test of finger dexterity", *Occup. Ther. J. Res.*, vol. 5, no. 1, pp. 24–38, 1985.
- [17] J. Desrosiers, A. Rochette, R. Hebert, and G. Bravo, "The Minnesota Manual Dexterity Test: reliability, validity and reference values studies with healthy elderly people", *Can J Occup Ther*, vol. 64. pp. 270–276, 1997.
- [18] E. Taub *et al.*, "Wolf Motor Function Test (WMFT) Manual", *UAB CI Ther. Res. Gr.*, pp. 1–31, 2011.
- [19] K. J. Sullivan *et al.*, "Fugl-meyer assessment of sensorimotor function after stroke: Standardized training procedure for clinical practice and clinical trials", *Stroke*, vol. 42, no. 2, pp. 427–432, 2011.

Anexo I. Escalas y test clínicos de valoración de la función de las extremidades superiores y la mano

Purdue Pegboard Test

El *Purdue Pegboard Test* es una escala de valoración utilizada para determinar si la destreza manipulativa se encuentra alterada. Concretamente el test permite medir dos tipos de destreza: el movimiento grueso de los dedos, manos y brazos y la destreza fina de la punta de los dedos necesaria en las tareas de montaje [11].

El material necesario para realizar el test consta de un cronómetro y de un tablero rectangular de madera con dos columnas de 25 agujeros cada una dispuestos verticalmente y 4 tazas cóncavas en la tapa, donde se disponen un determinado número de pequeñas clavijas de metal, arandelas y tubos. El test consta de 4 partes diferentes:

- 1ª parte: colocar en 30 segundos tantas clavijas como se pueda con la mano dominante (Figura 20).
- 2ª parte: insertar las clavijas, pero con la mano no dominante.
- 3ª parte: insertar las clavijas con ambas manos a la vez. Valorando la coordinación bimanual.
- 4ª parte: esta parte consiste en una tarea de ensamblaje. Ensamblado de mano derecha más izquierda más ambas manos. Para esta parte se dispone de 60 segundos.



Figura 20. Purdue Pegboard Test

Precio: entre 110 y 150 euros.

Crawford Small Parts Dexterity Test

Es una medida de la coordinación ojo-mano y de la destreza motriz fina. Está formado por una plancha con perforaciones, alfileres, caperuzas, tornillos, pinzas y destornillador (Figura 21). En la primera parte, el examinado utiliza pinzas para insertar alfileres en orificios y colocar aros sobre ellos. En la segunda parte coloca orificios de rosca y atornilla con un destornillador [12].



Figura 21. Crawford Small Parts Dexterity Test

Precio (descatalogado): 554.69 euros

The Chedoke Arm and Hand Activity Inventory

El propósito de este conjunto de test es evaluar la capacidad funcional del brazo hemipléjico y de la mano para realizar tareas que son importantes para la vida cotidiana para los supervivientes de un ictus. Cada tarea debe ser realizada una vez o dos si es necesario. El usuario puede usar ambas manos dos veces.

Cada prueba se evalúa con una escala cuantitativa de 7 puntos. El evaluador que observa la realización del ejercicio utiliza esta escala para determinar la puntuación. Si observa diferentes resultados, se debe asignar la puntuación más baja. La máxima puntuación se asigna a aquellos pacientes que realicen la tarea de manera independiente en un tiempo adecuado. La puntuación va descendiendo a medida que el paciente se esfuerce menos y necesite más ayuda, hasta alcanzar la mínima puntuación [13].

Este test no está diseñado para medir la capacidad del paciente para completar la tarea usando sólo su mano no afectada, sino más bien para estimular la función bilateral. Las tareas que se examinan en este test y que han sido identificadas como importantes para los individuos después de un accidente cerebrovascular son:

- Abrir un bote de café
- Llamar al 112
- Dibujar una línea con una regla (Figura 22)
- Poner un vaso de agua, teniendo en una mano el vaso y en la otra la jarra con agua
- Escurrir un trapo mojado
- Abrochase cinco botones de la chaqueta
- Limpiarse con una toalla
- Poner pasta de dientes en el cepillo de dientes
- Cortar con el cuchillo y el tenedor
- Pasarse la cremallera de la chaqueta

- Limpiar los cristales de las gafas
- Subir unas escaleras con peso



Figura 22. Chedoke Arm and Hand Activity Inventory

Precio: 0 euros.

Functional Dexterity Test

La *Functional Dexterity Test* es una herramienta de evaluación portátil que mide la destreza manual fina. Se requiere de un tablero de madera y 16 clavijas (Figura 23). La prueba consiste en voltear todas las clavijas en un patrón especificado, primero con la mano no lesionada y luego con la mano lesionada. Se penaliza con 5 segundos si se deja caer una clavija, se ayuda con otra parte del cuerpo para voltear las clavijas, se cambia de manos durante la prueba y se ayuda con la otra mano. La calificación consiste en el tiempo en completar el test más la penalización en segundos, hasta una puntuación máxima de 55 segundos. Si el tiempo necesario para el paciente es mayor de 55 segundos, es indicativo de una mano no funcional. En este caso la prueba puede alargarse hasta los dos minutos para permitir al examinador determinar el progreso dentro del rango de manos no funcionales [14].

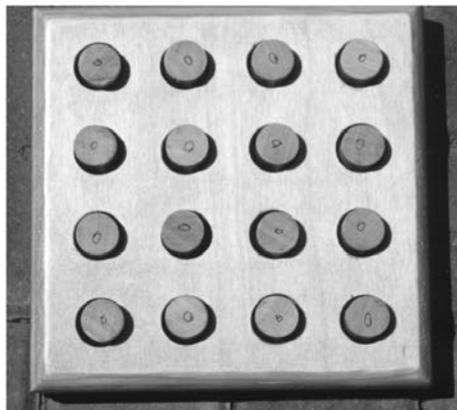


Figura 23. Functional Dexterity Test

Precio: 90 euros.

Jebsen Hand Function Test

Esta prueba fue diseñada para evaluar mediante una prueba corta, una amplia gama de funciones requeridas para actividades de la vida cotidiana. Está formado por siete tareas y su duración aproximada es de 15-45 minutos. Las tareas que integran el test son:

- Escribir
- Girar cartas de 3 por 5 pulgadas (Figura 24)
- Recoger pequeños objetos comunes
- Coger alimentos pequeños
- Apilar damas
- Mover objetos ligeros
- Recoger objetos pesados.

Los resultados se obtienen midiendo el tiempo necesario para llevar a cabo cada una de las tareas. Las pruebas se presentan siempre en el mismo orden y se realizan primero con la mano no dominante [15].



Figura 24. Jebsen Hand Function Test

Precio: 300 euros.

Nine Hole Peg Test

Esta prueba evalúa la coordinación motora minuciosa, la coordinación ojo-mano, la capacidad de seguir instrucciones simples y la destreza fina. En el test se utiliza una tabla con nueve orificios (Figura 25). La prueba consiste en colocar un determinado número de clavijas en los agujeros correspondientes en el menor tiempo posible. Esta prueba se debe hacer primero con el brazo dominante. Para medir el tiempo se emplea un cronómetro que se inicia cuando el paciente toca la primera clavija y se detiene cuando coloca la última [16].



Figura 25. Nine Hole Peg Test

Precio: 157.39 euros

Box and Block Test

Esta prueba se usa para evaluar la destreza manual. Se emplea una caja dividida en dos partes en la cual hay que transferir bloques de una parte a otra (Figura 26). La puntuación se obtiene del número de bloques pasados, con éxito de un lado a otro de la caja [2].



Figura 26. Box and Block Test

Precio: 200 euros.

Minnesota Rate of Manipulation Test

Esta prueba psicomotora mide la destreza manual mediante la realización de 5 subpruebas: colocación, giro, desplazamiento, giro y colocación de una mano y giro y colocación de dos manos. Para la realización de la prueba se requiere de uno o dos tableros con 60 agujeros cada uno y 60 bloques cilíndricos (Figura 27). Dichos bloques tienen las tapas de distinto color y encajan perfectamente en los agujeros de las tablas. Inicialmente los bloques están dispuestos en uno de los tableros y con uno de los colores hacia arriba [17].

- Prueba de colocación: mide la velocidad con la que el sujeto puede volver a colocar los bloques en los agujeros del otro tablero vacío con una mano.
- Prueba de desplazamiento: mide la velocidad con la que el sujeto puede mover los bloques hacia delante con una mano. Sólo se emplea un tablero que se sitúa delante y paralelo al sujeto. Todos los orificios, a excepción del orificio de la esquina superior izquierda, están llenos de bloques.
- Prueba de giro y colocación de una mano: mide la velocidad con la que el sujeto puede manipular los bloques, así como ponerlos en los orificios con una mano.
- Prueba de giro y colocación con dos manos: mide la velocidad con la que el sujeto puede manipular dos bloques, cada uno en una mano, así como ponerlos en los agujeros.



Figura 27. Minnesota Rate of Manipulation Test

Precio: 250 euros.

Wolf Motor Function Test

Este test está compuesto por un total de 17 tareas que permiten obtener información de la capacidad funcional de los hombros, codos, brazos y manos del paciente. Las tareas que se realizan con la mano y el brazo son [18]:

- Elevación de una lata: El participante debe intentar levantar la lata y acercarla a los labios con una sujeción cilíndrica.
- Elevación de un lápiz: El participante debe intentar recoger el lápiz con el pulgar y los dos primeros dedos y mantenerlo en el aire. El lápiz debe ser recogido en la mesa y no en el borde de la mesa.
- Coger un clip con una pinza de agarre: El participante debe intentar coger un clip situado en la mesa utilizando una pinza de agarre (con el pulgar y el dedo índice). El clip debe ser recogido en la mesa y no sobre el borde de la mesa.
- Apilar damas: El participante debe intentar apilar dos fichas en un marcador central. Las damas no tienen que estar perfectamente apiladas.
- Voltar cartas: El participante debe intentar voltear cada una de las cartas usando una pinza de agarre en el borde cercano de las cartas, el participante intenta voltear cada una de las cartas. Las cartas pueden aterrizar en cualquier lugar de la mesa por lo que no es necesario enderezar las tarjetas después de darles la vuelta.
- Presión de agarre: El participante debe intentar agarrar el dinamómetro con la mayor fuerza de agarre posible. La prueba debe realizarse tres veces con un descanso de 1 minuto entre los intentos.
- Girar la llave en la cerradura: El participante debe intentar mover la llave en la cerradura primero desde la posición vertical primero hacia uno de los lados,

luego al lado opuesto y finalmente de vuelta a la posición inicial vertical. Esta tarea se debe realizar usando una sujeción de pinza lateral (agarre la llave entre su pulgar y su dedo índice).

- Doblar una toalla: El participante debe intentar coger la toalla con ambas manos, agarrando las esquinas lejanas de la toalla. El participante debe doblar primero la toalla longitudinalmente. Luego doblarla por la mitad a través de su centro usando su brazo, para completar la tarea hay que acercar los extremos de la toalla para dejarlos juntos.
- Elevación de una cesta: El participante debe intentar levantar una cesta con una de las dos manos agarrándola desde la empuñadura y colocar la cesta en el borde lejano de la mesa. El borde lejano de la cesta debe tocar el extremo de la mesa.

Precio: 0 euros.

Fugl-Meyer Assessment of Motor Recovery after Stroke

La *Fugl-Meyer Assessment* es una de las escalas clínicas más ampliamente reconocidas y clínicamente relevantes para medir y evaluar el deterioro de la función corporal tras un accidente cerebrovascular. Incluye una evaluación de la extremidad superior y extremidad inferior [19]. A continuación, una breve descripción de los ejercicios destinados a la extremidad superior :

- Actividad refleja
- Sinergia Flexora de miembros superiores
- Sinergia Extensora de miembros superiores
- Combinación de ambas sinergias
 - Mano a la columna lumbar
 - Flexión del hombro a 90°, codo a 0°
 - Supinación del antebrazo, codo a 90° y hombro a 0°
- Movimientos fuera de sinergia
 - Abducción del hombro a 90°, codo a 0° y pronación del antebrazo
 - Flexión del hombro desde 90° a -180°, codo a 0°, y antebrazo en posición media
 - Pronación del antebrazo, codo a 0° y hombro con 30°-90° de flexión.
- Reflejos normales
- Movimientos con muñeca
 - Estabilidad, codo a 90°, y hombro a 0°
 - Flexión/Extensión, codo a 90° y hombro a 0°
- Movimientos de la mano
 - Flexión de los dedos. El paciente comienza con la palma de la mano extendida para posteriormente flexionar todos los dedos
 - Extensión de los dedos. Partimos con los dedos de la mano flexionados para entonces extenderlos todos completamente
 - Agarre (Extender el área metacarpofalángica; realizar la aducción del pulgar puro con un trozo de papel interpuesto entre el pulgar y el primer dígito, agarrar un lápiz, coger un vaso; agarrar una pelota de tenis)

Precio: 0 euros.

Anexo II. Descripción y funcionamiento de los ejercicios de valoración

Movimiento que se evalúa	Posición inicial	Objetivo	Tiempo	Instrucciones	Calibración	Parámetros de salida	Captura
1 Toques	El paciente se encuentra sentado en una posición relajada con la Tablet apaisada sobre la mesa a una distancia tal que pueda alcanzarla sin flexionar la espalda. La única condición de inicio es no tocar la pantalla.	Pulsar tantas veces la pantalla como sea posible.	10 s	“Pulsa sobre la pantalla con tu dedo índice tantas veces como puedas”	Ninguna	<ul style="list-style-type: none"> • Número de toques • Tiempo de reacción: tiempo desde el inicio de la prueba hasta el primer toque • Tiempo de toques: instantes en los que se realizan los toques 	
2 Extensión analítica de los dedos	El paciente se encuentra sentado en una posición relajada con la Tablet apaisada sobre la mesa a una distancia tal que pueda alcanzarla sin flexionar la espalda. La mano del paciente debe colocarse lo más extendida posible pero en una posición cómoda sobre la pantalla.	Pulsar tantas veces la pantalla como sea posible con el dedo que se indique, sin levantar el resto.	10 s por dedo	“Realiza toques con cada uno de los dedos sin levantar el resto”	Al inicio de la prueba se debe indicar a qué dedo corresponde cada blob detectado. Para ello, se pulsa un botón indicando un dedo y a continuación, el paciente deber realizar tres toques con ese dedo.	Para cada dedo <ul style="list-style-type: none"> • Número de toques • Tiempo de reacción: tiempo desde el inicio de la prueba hasta el primer toque • Tiempo de toques: instantes en los que se realizan los toques • Falsos positivos: número de veces que se levanta otro dedo erróneamente o por el movimiento en bloque 	

3	Flexo-extensión MCF-IF	El paciente se encuentra sentado en una posición relajada con la Tablet apaisada sobre la mesa a una distancia tal que pueda alcanzarla sin flexionar la espalda.	Situación los dedos lo más extendidos posibles sobre la pantalla para a continuación, juntarlos lo máximo posible sin que se levante ningún dedo de la pantalla.	Tiempo máximo	"Separa y junta lo máximo posible los dedos sin separar ningún dedo de la pantalla"	Ninguna	<ul style="list-style-type: none"> • Área mínima que viene determinada por la posición de los 5 dedos cuando se han juntado lo máximo posible. • Área máxima que viene determinada por la posición de los 5 dedos cuando se han separado lo máximo posible. • Tiempo entre flexión y extensión. • Falsos positivos: cuando en vez de arrastrar los dedos por la pantalla los levanta para juntarlos lo máximo posible. 	
4	Pinza	El paciente se encuentra sentado en una posición relajada con la Tablet apaisada sobre la mesa a una distancia tal que pueda alcanzarla sin flexionar la espalda.	Realizar pinza con distintos dedos.	Tiempo máximo	"Realiza el movimiento de la pinza con el dedo pulgar y el dedo indicado"	Ninguna	<ul style="list-style-type: none"> • Distancia mínima durante la flexión • Distancia máxima durante la extensión • Falsos positivos: cuando en vez de arrastrar los dedos por la pantalla los levanta para juntarlos lo máximo posible. 	
5	Grafomotricidad	El paciente se encuentra sentado en una posición relajada con la Tablet apaisada sobre la mesa a una distancia tal que pueda alcanzarla sin flexionar la espalda.	En la Tablet aparecerán letras o símbolos escritos con una línea a trazos. El paciente deberá escribir por encima con el lápiz (o el dedo) intentando desviarse lo mínimo posible.	Tiempo máximo	"Intenta repasar con un lápiz para Tablet la letra que aparecerá sobre la pantalla"	Ninguna	<ul style="list-style-type: none"> • Error entre el grafo de la pantalla y el realizado por el paciente. • Número de veces en que se discontinua el grafo • Dibujo que realiza el paciente (<i>snapshot</i>) 	

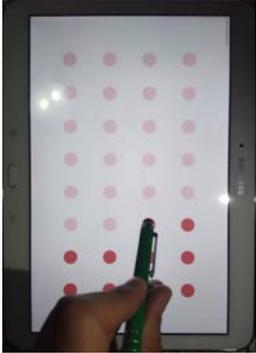
6	Coordinación óculo-manual	<p>El paciente se encuentra sentado en una posición relajada con la Tablet en posición vertical sobre la mesa a una distancia tal que pueda alcanzarla sin flexionar la espalda. Si el test se desea hacer con un lápiz, éste debe colocarse por delante de la Tablet.</p>	<p>En la Tablet aparecerán 32 puntos dispuestos según una rejilla 4x8. El objetivo del ejercicio es pulsar sobre todos los puntos en el mínimo tiempo posible. El paciente tiene que dejar el lápiz y volverlo a coger cada vez que pulsa sobre cada uno de los puntos. Y si lo hace sin lápiz, debe tocar la mesa con la mano que ejecuta el test.</p>	Tiempo máximo	"Pulsa sobre todos los puntos lo más pronto posible"	Ninguna	<ul style="list-style-type: none"> • Tiempo en pulsar todos los puntos. • Número de puntos que se han pulsado si ha vencido el tiempo. • Número de toques fuera de los puntos (Falsos positivos). • Tiempo de toques: instantes y posiciones en los que se realizan los toques. 	
---	---------------------------	--	---	---------------	--	---------	---	---

Tabla 4. Descripción y funcionamiento de los ejercicios de valoración

Anexo III. Cuestionario utilizado en el estudio de usabilidad

Datos personales

Nombre: _____

Apellidos: _____

Edad: _____

Años de experiencia: _____

System Usability Scale

Responde a estas preguntas sobre las características técnicas de la aplicación desarrollada. La escala debe completarse una vez has tenido la oportunidad de interactuar con el sistema. Si sientes que no puedes responder a algún ítem en particular, marca el punto central de la escala.

1.- Me gustaría usar la aplicación de valoración a menudo.

*Totalmente en
desacuerdo*

*Totalmente
de acuerdo*

1	2	3	4	5
---	---	---	---	---

2.- La aplicación me ha parecido complicada de usar.

*Totalmente en
desacuerdo*

*Totalmente
de acuerdo*

1	2	3	4	5
---	---	---	---	---

3.- La aplicación es fácil de usar.

*Totalmente en
desacuerdo*

*Totalmente
de acuerdo*

1	2	3	4	5
---	---	---	---	---

4.- Creo que necesito la ayuda de personal técnico para poder utilizar la aplicación.

*Totalmente en
desacuerdo*

*Totalmente
de acuerdo*

1	2	3	4	5
---	---	---	---	---

5.- Creo que las distintas funciones de la aplicación están bien integradas.

*Totalmente en
desacuerdo*

*Totalmente
de acuerdo*

1	2	3	4	5
---	---	---	---	---

6.- Creo que hay muchas inconsistencias/fallos en la aplicación

*Totalmente en
desacuerdo*

*Totalmente
de acuerdo*

1	2	3	4	5
---	---	---	---	---

7.- Creo que la mayoría de la gente aprendería a usar la aplicación rápidamente.

*Totalmente en
desacuerdo*

*Totalmente
de acuerdo*

1	2	3	4	5
---	---	---	---	---

8.- La aplicación es incómoda de usar.

*Totalmente en
desacuerdo*

*Totalmente
de acuerdo*

1	2	3	4	5
---	---	---	---	---

9.- Se puede confiar en la aplicación a la hora de usarla.

*Totalmente en
desacuerdo*

*Totalmente
de acuerdo*

1	2	3	4	5
---	---	---	---	---

10.- He necesitado aprender muchas cosas antes de empezar a usar la aplicación.

*Totalmente en
desacuerdo*

*Totalmente
de acuerdo*

1	2	3	4	5
---	---	---	---	---

Puntuación

Ítems 1,3,5,7,9: puntuación directa -1

Ítems 2,4,6,8,10: 5- puntuación directa

La contribución de cada ítem a la puntuación total oscila entre 0 y 4. Para los ítems 1,3,5,7 y 9, se suma la puntuación de cada ítem menos 1. Para los ítems 2,4,6,8 y 10 la contribución es 5 menos la posición macada. La suma obtenida con todos los ítems se multiplica por 2,5 para obtener el valor de la escala.

Las puntuaciones totales oscilan entre 0-100.

Puntuación total: _____

Puntuación convertida (total x 2.5): _____