

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE BUENOS AIRES – ITBA

ESCUELA DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA

MotFi

Diseño y prototipado de un sistema interactivo para rehabilitación de la motricidad fina de la mano

AUTOR/ES: Rensonnet, Pablo (Leg. N° 56137)

PROFESOR RESPONSABLE O TUTOR/ES: Bioing. Paschetta, Federico

TRABAJO FINAL PRESENTADO PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE BIOINGENIERO

BUENOS AIRES

29 de Agosto del 2020

Índice

1. Introducción	5
2. Marco teórico	7
2.1. Trastornos neurológicos, un problema en crecimiento	7
2.2. Los efectos sobre el equilibrio y la coordinación	8
2.3. La importancia de la motricidad fina	9
2.4. La rehabilitación tradicional	10
2.5. Videojuegos para una rehabilitación 2.0	12
2.6. Desarrollo de videojuegos terapéuticos	13
3. Fundamentos del trabajo	17
4. Concepción del producto	22
4.1. Caracterización del usuario	22
4.2. Prospectiva	22
4.3. Características distintivas del proyecto	23
5. Objetivos	24
6. Requerimientos	25
6.1. Análisis de requerimientos funcionales	25
6.2. Requerimientos de la aplicación	26
6.3. Requerimientos de la interfaz de control	27
7. Materiales	29
7.1. Materiales de diseño	29
7.2. Materiales de la interfaz de control	29
8. Diseño de la interfaz de control	30
8.1. Diseño de hardware	31
8.1.1. Microcontrolador	31

8.1.2. Comunicación Bluetooth	33
8.1.3. Sensores de contacto	33
8.1.4. Alimentación	35
8.1.5. Batería	36
8.2. Diseño de software	36
9. Diseño de la aplicación	39
9.1. Aspectos generales	43
9.2. Perfil	44
9.3. Informe	45
9.4. Evolución	45
9.5. Juego	45
9.6. Clases	46
9.7. Información del usuario	47
9.8. Comunicación Bluetooth	48
10.Implementación de la interfaz de control	49
10.1. Detección de movimientos	49
10.2. Comunicación Bluetooth	51
10.3. Alimentación	53
10.4. Carga de la batería	53
10.5. Unificación del sistema	54
10.6. Carcasa en 3D	55
10.7. Implementación final	57
11.Implementación de la aplicación	60
11.1. Instalación y primera interacción	61
11.2. Barra de estado	62
11.3. Personalización del sistema	63
11.4. Entrenamiento	67
11.5. Evolución	73

11.6. Comunicación	77
11.7. Documentación del código	79
12. Pruebas	81
13. Conclusiones	84

1. Introducción

Los trastornos neurológicos se encuentran entre las principales causas de muerte en el mundo y son la principal causa de DALYs (Disability-adjusted life year o años de vida ajustados por discapacidad). Debido a que cada vez más personas en el mundo tienen un mejor acceso a la salud, la esperanza de vida aumenta y por lo tanto el grupo etario más propenso a este tipo de enfermedades se encuentra en crecimiento. Resulta prioritario poder combatir estos trastornos, tanto desde la prevención como desde la rehabilitación.

Uno de los objetivos del bioingeniero es analizar y contribuir en la resolución de problemas del área de la medicina, aplicando métodos de ingeniería, ciencia y tecnología. Gracias a los constantes avances tecnológicos, un número cada vez más grande de la población tiene acceso a un celular. Además, hay un incremento constante en la cantidad de personas que juegan videojuegos, ya sea en sus celulares, computadoras o en dispositivos diseñados exclusivamente para ello.

Ambos hechos sirvieron como punto de partida para la idea de poder acercar a los pacientes una metodología de rehabilitación tecnológica que potencie su evolución. En el presente trabajo se hizo foco en la recuperación de la motricidad fina de la mano. Se implementó un sistema que permita realizar ejercicios por fuera del ambiente del consultorio terapéutico y que motive a los pacientes, ya que uno de los principales problemas que enfrentan las terapias convencionales es la falta de motivación para llevar a cabo los procedimientos solicitados.

El trabajo consistió en el análisis, diseño e implementación de un prototipo de una interfaz de control para poder llevar a cabo ejercicios de rehabilitación respondiendo a desafíos y videojuegos presentados mediante una aplicación para celular. El desarrollo de la aplicación se llevó a cabo para el sistema operativo Android debido a la gran presencia de este en el mercado y a la accesibilidad del modo desarrollador. Se investigó acerca de las tecnologías y metodologías utilizadas actualmente para el desarrollo de aplicaciones para poder garantizar una buena experiencia de usuario al momento de utilizar el sistema.

Además, se trabajó sobre el desarrollo de los videojuegos para poder facilitar la comprensión de los objetivos y los controles, a la vez que se desafía al paciente para que lleve a

cabo la rehabilitación propuesta.

Para el dispositivo físico, se analizaron las potenciales dificultades que este tipo de pacientes podría presentar y se buscó un diseño que se pueda adaptar al paciente y a sus capacidades.

Finalmente, se estudió qué tipo de información relevante podría ser extraída de la rutina para poder enviársela al médico y que éste pudiera actualizar las exigencias para obtener los mejores resultados posibles. Se implementó el almacenamiento de estos datos de forma privada en el celular del paciente y se desarrolló una vía de comunicación para hacerle llegar un informe de la evolución al profesional por mail.

2. Marco teórico

2.1. Trastornos neurológicos, un problema en crecimiento

La Organización Mundial de la Salud (OMS) define a los trastornos neurológicos como enfermedades del sistema nervioso central y periférico, es decir, del cerebro, la médula espinal, los nervios craneales y periféricos, las raíces nerviosas, el sistema nervioso autónomo, la placa neuromuscular, y los músculos. Entre esos trastornos se encuentran la epilepsia, la enfermedad de Alzheimer y otras demencias, enfermedades cerebrovasculares tales como los accidentes cerebrovasculares (ACV), la migraña y otras cefalalgias, la esclerosis múltiple (EM), la enfermedad de Parkinson (EP), las infecciones neurológicas, los tumores cerebrales, las afecciones traumáticas del sistema nervioso tales como los traumatismos craneoencefálicos (TCE), los trastornos neurológicos causado por la desnutrición o por malnutrición, y las encefalopatías crónicas no evolutivas (ECNE).

Según la OMS, más de 6 millones de personas mueren cada año por ACVs, y más del 80 % de estas muertes se producen en países de ingresos bajos o medianos. Más de 50 millones de personas en todo el mundo tienen epilepsia. Según los cálculos, 47.5 millones de personas en todo el mundo padecen demencia, y se diagnostican 7.7 millones de casos nuevos cada año. La prevalencia de la migraña es superior al 10 % en todo el mundo.

De acuerdo al estudio del GBD de 2016 [9], las enfermedades neurológicas fueron la segunda causa de muerte a nivel mundial y la principal causa de DALYs.

Un DALY es una medida de carga de la enfermedad global. Se calculan como la suma de los años vividos con la enfermedad más los años perdidos debido a una muerte prematura a causa de la enfermedad. Los años perdidos son calculados como aquellos faltantes hasta alcanzar la esperanza de vida de la población correspondiente.

Dado el crecimiento histórico de la esperanza de vida, cada vez más personas formarán parte del grupo etario de mayor riesgo para patologías como el ACV. Esto representa una demanda creciente de sistemas y tecnologías que mejoren la calidad de vida y permitan mantener autonomía a personas de edad cada vez más avanzada. Resulta primordial poder combatir las, ya sea mediante la prevención como mediante el uso de tratamientos eficaces y accesibles para la mayor cantidad de pacientes posible.

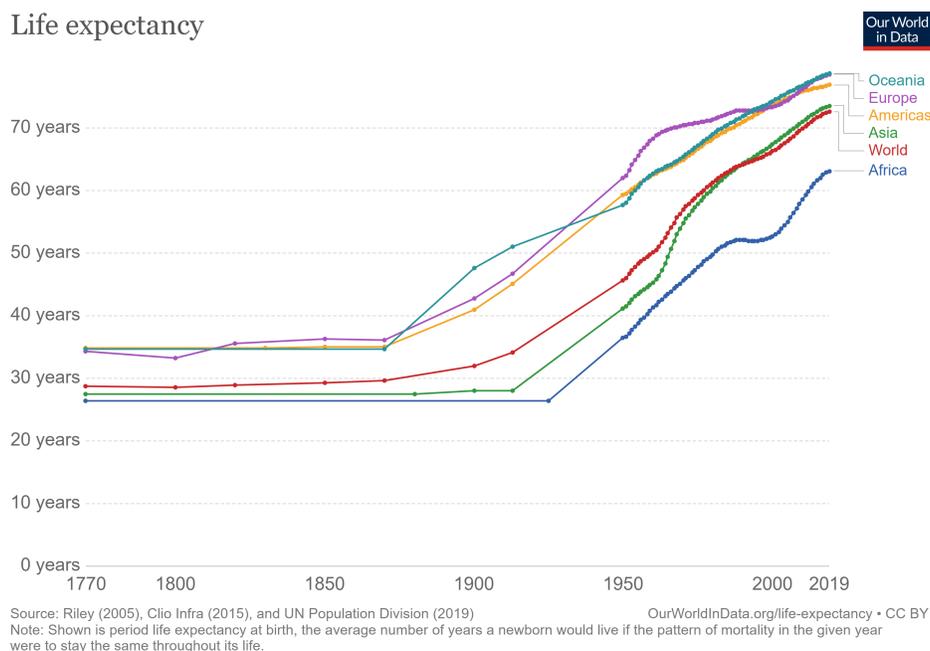


Figura 1: Esperanza de vida en el tiempo, segmentada por continente. Extraído de [23].

2.2. Los efectos sobre el equilibrio y la coordinación

El sentido del equilibrio se basa en una serie de señales al cerebro que provienen de varios órganos y estructuras del cuerpo, específicamente los ojos, los oídos, y los músculos y sensores del tacto en las piernas. Al integrar toda esta información, el cuerpo puede detectar la posición relativa del mismo en el espacio y realizar movimientos como caminar, saltar, correr o agarrar un objeto.

La coordinación motora, en cambio, es la capacidad que tienen los músculos esqueléticos del cuerpo de sincronizarse bajo parámetros de trayectoria y movimiento.

Los desórdenes nombrados anteriormente afectan en alguna medida estas capacidades en los pacientes. Por ejemplo, para mantener el equilibrio en actividades de la vida diaria, el control de la postura es esencial. Además, las funciones cognitivas motoras, sensoriales y cerebrales contribuyen en conjunto al control de esta [7].

Daños en el cerebro o los nervios las deterioran y pueden llevar a condiciones como la ataxia, en la cual la persona experimenta una falta de control muscular o coordinación de los movimientos voluntarios, como caminar o levantar objetos. Esto también lleva a que se

presente un movimiento espasmódico, inestable y de vaivén de la mitad del cuerpo (tronco) y marcha inestable (estilo de caminar).

Está documentado como pacientes hemipléjicos o hemiparéticos a causa de un ACV presentaron un mayor balanceo en la postura, distribución de peso asimétrica, habilidad para balancear el peso disminuida y una menor capacidad de estabilidad [7].

Pero no sólo se producen afecciones de la motricidad gruesa como lo son los trastornos de la marcha, sino que también la capacidad de control de movimientos finos y específicos de los pacientes se ve afectada. Volviendo al caso del ACV, luego de tres meses del cuadro, solamente 12 % de los sobrevivientes reportaron no tener dificultad en las funciones motoras de la mano, mientras que un 38 % reportó una dificultad alta para coordinar estas funciones [4].

Dado que habilidades motoras precisas son necesarias para llevar a cabo actividades de la vida diaria, el presente trabajo se enfoca en la rehabilitación de estas habilidades en los pacientes.

2.3. La importancia de la motricidad fina

La gran mayoría de los trastornos neurológicos conllevan problemas en la motricidad fina de los pacientes [8]. Se entiende por motricidad fina a la coordinación de músculos, huesos y nervios necesaria para producir movimientos pequeños y precisos.

Un ejemplo de control de la misma es recoger un pequeño elemento con el dedo índice y el pulgar. Una gran cantidad de tareas de la vida diaria que se llevan a cabo gracias al correcto desarrollo de esta coordinación.

El control de la motricidad fina en los niños se utiliza para determinar su edad de desarrollo ya que la falta de este tipo de coordinación, puede poner de manifiesto problemas del cerebro, la médula espinal, los nervios periféricos, los músculos o las articulaciones. La estimulación de esta motricidad es fundamental para el aprendizaje, especialmente antes de introducirse en la lecto-escritura, ya que requiere de coordinación y entrenamiento motriz de las manos.

En adultos, es indispensable para llevar a cabo actividades de la vida diaria, cobrando una importancia aún mayor en pacientes que buscan retomar la vida laboral luego de la

lesión. Dentro de las causas más comunes de problemas en la motricidad fina de la mano se encuentran los ACVs. Según un estudio del Departamento de Salud y Servicios Humanos de los Estados Unidos (2015), hay aproximadamente 4.7 millones de adultos en dicho país que encuentran “Muy difícil o imposible manejar o agarrar objetos pequeños” [22].

En los casos en que la motricidad fina se ve afectada, la persona requiere la ayuda de un tercero o algún tipo de dispositivo que lo asista, lo cual reduce su autonomía e independencia. Esto lleva a una serie de efectos secundarios negativos sobre la misma como por ejemplo:

- Creciente pérdida de la capacidad motriz, ya que si no se trata de rehabilitar la afección, los músculos disminuyen su tamaño y empeora su desempeño.
- Depresión, debido al accionar psicológico de la enfermedad.
- Pérdida de la capacidad para realizar tareas de la vida diaria como usar el celular, atarse los cordones, etc.
- Potenciales problemas económicos, debido al costo de personal, tecnología de asistencia o de la terapia misma.

Para enfrentar estos problemas y mejorar significativamente la calidad de vida de la persona, es necesario contar con técnicas de rehabilitación actualizadas y eficaces, que además puedan ser accesibles para la gran mayoría de la población.

Un dato de gran importancia es que los países de bajos y medianos ingresos económicos son los principales afectados por los enfermedades neurológicas. Además, los trastornos neurológicos son los principales causantes a nivel mundial de discapacidad, y aquellos con discapacidad por este tipo de enfermedad son más propensos a volverse pobres [16].

Resulta primordial desarrollar sistemas que permitan enfrentar el problema desde un punto de vista económicamente accesible para este tipo de poblaciones.

2.4. La rehabilitación tradicional

De acuerdo a la OMS, la rehabilitación engloba un conjunto de intervenciones que son necesarias cuando una persona experimenta o es probable que experimente limitaciones en

su vida cotidiana como consecuencia del envejecimiento o de un problema de salud, como una enfermedad o trastorno crónico, una lesión o un traumatismo. En este sentido, la misma cumple una doble función, de prevenir el accionar de una enfermedad y de asistir durante la manifestación de esta. Las limitaciones a las que se hace referencia involucran dificultades para pensar, ver, oír, comunicarse, desplazarse, relacionarse o conservar el empleo, entre otras. Gracias a la rehabilitación, personas de todas las edades pueden mantener sus actividades cotidianas o retomarlas, seguir sintiéndose útiles y gozar del mayor bienestar posible.

Es una estrategia muy centrada en la persona, que puede llevarse a cabo bien a través de programas especializados de rehabilitación (generalmente dirigidos a personas con necesidades complejas), o bien integrada en otros programas y servicios de salud, como la atención primaria o programas para la salud mental, la visión y la audición.

Se sabe que la repetición de movimientos aislados promueve la rehabilitación física [5, 14, 6, 11]. Estos movimientos incluyen tareas sencillas y puntuales como mover objetos pequeños de un lugar a otro, así como aquellas que involucran la motricidad gruesa como caminar una determinada distancia. Este es un proceso muy demandante que requiere cientos de repeticiones todos los días para poder generar progreso hacia la recuperación.

Al hablar de la rehabilitación de patologías en general, un aspecto importante a considerar es que la gran mayoría del tiempo los pacientes se encuentran fuera del consultorio donde llevan a cabo la terapia. Las últimas pautas para el tratamiento de pacientes recomiendan llevar a cabo repeticiones de movimientos en una alta intensidad, a la vez que se le mantiene informado a los pacientes respecto a su evolución [1]. Por ejemplo, los pacientes de un ACV, para recuperarse significativamente, deben llevar a cabo un número substancial de ejercicios diarios a casa. Sin embargo, sólo 31 % de los pacientes llevan a cabo estos ejercicios de acuerdo a las recomendaciones del profesional a cargo de su terapia [19].

Si se tiene en cuenta que el éxito de la recuperación depende en gran parte de la frecuencia, duración y costo de la terapia [8], es directo notar que si se puede llevar la ejercitación por fuera del consultorio, los tiempos de recuperación (así como los costos asociados) se verían disminuidos. Un rol muy importante emerge, entonces, para las tecnologías que permitan a los pacientes llevar a cabo el entrenamiento o rehabilitación con un consumo mínimo del tiempo del profesional a cargo [20].

Respecto a la actitud del paciente, la participación activa de este en los programas de rehabilitación aumenta los beneficios y eficacia de la terapia. Sin embargo, muchas veces los pacientes pierden esta motivación debido a la linealidad y enfoque técnico de las tareas a realizar. Gran cantidad de publicaciones hablan de como combinar la terapia con juegos o medios de entretenimiento resulta una verdadera necesidad para garantizar una terapia óptima [1, 10].

Aunque en este proyecto se va a puntualizar sobre la rehabilitación de la motricidad fina de miembro superior, todo este análisis aplica para terapias relacionadas con afecciones de todo el cuerpo.

2.5. Videojuegos para una rehabilitación 2.0

La falta de motivación es una causa común de resultados negativos del tratamiento [3]. Esto es todavía más problemático al trabajar con niños con una enfermedad no degenerativa como parálisis cerebral. Algunos estudios hablan de como los pacientes pediátricos estaban felices de jugar videojuegos [12] e incluso como los padres de los mismos pasaron de ver a los videojuegos como simple videojuegos, a verlos como una herramienta útil de tratamiento. Otros demuestran niveles de participación, satisfacción y cooperación mayores en comparación con rehabilitación convencional [13].

Los videojuegos tienen una gran cantidad de ventajas, como prevenir la monotonía y el aburrimiento de la terapia convencional, así como aumentar la motivación, mediante el constante *feed-back* que se le provee a la persona que los utiliza. Al disminuir la monotonía de los cientos de repeticiones y al proveer información de su desarrollo al usuario, los juegos pueden incrementar tanto la cantidad como la calidad de la terapia fuera del consultorio [1].

Debido a las ventajas y al gran alcance de la tecnología de hoy en día, hay una enorme cantidad de publicaciones que hablan de los videojuegos en las terapias de rehabilitación. En un principio, lo que se llevaba a cabo era la aplicación de sistemas de entretenimiento comercial en la rehabilitación [3], pero resulta interesante como publicaciones recientes comienzan a hablar de la importancia del desarrollo de sistemas pensados desde su concepción para una aplicación orientada a fines terapéuticos [2].

Es importante destacar que los videojuegos no deben considerarse únicamente una he-

herramienta para mejorar la habilidad motora del usuario. Las capacidades cognitivas de las personas juegan un rol fundamental para poder procesar y analizar la información del entorno donde viven. En este aspecto, los videojuegos se relacionan con un concepto muy estudiado hoy en día, la neuroplasticidad.

Durante muchos años los científicos creían que las neuronas podían crear nuevas conexiones neuronales durante los primeros años de vida, pero investigaciones recientes sugieren que este proceso también se lleva a cabo en adultos [18]. A partir de estos descubrimientos, grandes cantidades de publicaciones han abordado la temática de cómo estimular dicho proceso, ya sea mediante la rehabilitación física, técnicas de neuroestimulación, terapias aeróbicas y, en algunos casos, videojuegos.

Dentro de los beneficios de estos tenemos mejoras en los tiempos de procesamiento y los tiempos de reacción, mejoras en la memoria, mayor capacidad de llevar a cabo varias tareas al mismo tiempo (*multitasking*), una menor distracción en las tareas y una mayor atención al entorno, entre otros [17, 15].

Si bien un análisis más profundo de esta herramienta de rehabilitación relativamente nueva se encuentra por fuera de los límites de este proyecto, resulta muy interesante cómo un sistema que originalmente se diseñó como un simple medio de entretenimiento puede llegar a mejorar las capacidades de procesamiento del cerebro.

2.6. Desarrollo de videojuegos terapéuticos

Por naturaleza, los videojuegos alientan a la participación voluntaria para superar desafíos virtuales con el fin de alcanzar un objetivo virtual. Cuando son considerados como sistemas para rehabilitación, los juegos tienen que considerar cinco elementos claves [2]:

- El propósito de la rehabilitación.
- Los pasos del entrenamiento y lo que se busca obtener de ellos.
- Causalidad en la estrategia de rehabilitación.
- Evaluación del estado actual del paciente durante la terapia.
- Adaptación dinámica al estado actual del paciente.

Ciertos aspectos son fundamentales en el desarrollo de videojuegos. Considerar todos estos parámetros desde el punto de vista del usuario permite desarrollar juegos que cumplan con todos los requisitos de una terapia, a la vez que pueden mantener entretenido y concentrado a quien los utiliza. Ellos son:

- Recompensa.
- Desafíos.
- Realimentación.
- Interactividad.
- Objetivos y mecánica claros.
- Socialización.

La recompensa es el principal aspecto con el que se busca motivar al usuario y evitar la monotonía de las tareas repetitivas y regulares. Desde simples medallas o desbloqueo de nuevos elementos hasta la posibilidad de ganarle a un contrincante, hay una gran variedad de posibilidades para alentar al paciente en su progreso.

Los desafíos deben estar relacionados con la terapia física que se busca realizar y tener en cuenta las capacidades físicas de la persona. Por ejemplo, reconocer y recordar diferentes objetos con diferentes consecuencias asociadas puede ser divertido y útil para algunos usuarios, mientras que puede ser una difícil tarea para otros [1].

La realimentación (o *feedback*) que se le da al usuario sirve para hacerle recordar de las consecuencias (positivas y negativas) de sus acciones. Tanto mediante señales visuales como auditivas, es importante poder transmitirle la información de forma clara y precisa.

La interactividad permite que la persona, a través de su modelo mental del sistema, interaccione con el mismo y lleve a cabo las tareas que se espera de él, para así cumplir con su terapia.

Para que pueda cumplir con lo esperado, es fundamental que los objetivos y las mecánicas de juego sean lo más claras y naturales posible. Es posible que algunas patologías conlleven algún problema cognitivo asociado, con lo cual incluso el movimiento más simple puede traer problemas para algún paciente.

La socialización presenta un potencial de motivación enorme. Incorporar roles para los miembros de la familia o incluso permitir la conexión con usuarios en otras partes del mundo permite combatir la aislación y genera un sentimiento de conexión social. En cuanto al tipo de inclusión, los juegos colaborativos (donde dos usuarios tienen un objetivo común), presentan más potencial que aquellos competitivos (donde un usuario compite con otro). Esto es debido a que es difícil equilibrar la relación entre un usuario con una capacidad motriz distinta a la de otro, y además hay un sentimiento de incomodidad de parte de un usuario sano al competir con uno que está tratando de combatir con su propia motricidad [1].

En Fig. 2 se observa un modelo de diseño centrado en el jugador, en el cual se diferencian claramente las diferentes capas que componen la “interfaz usuario - videojuego”.

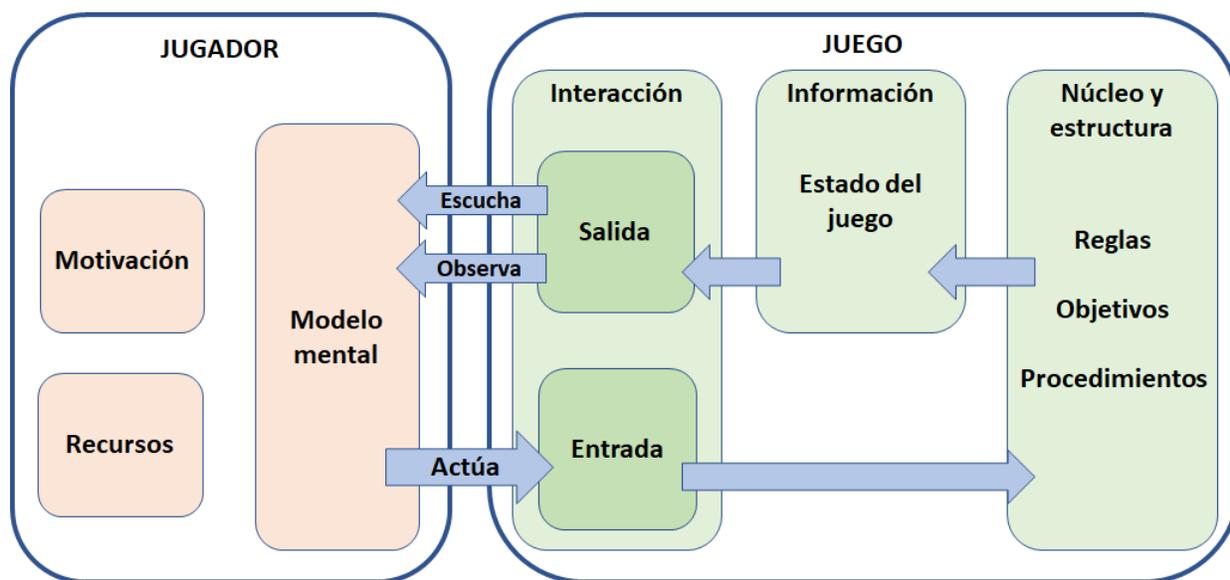


Figura 2: Modelo para el diseño de videojuegos de rehabilitación centrados en el paciente. Basado en el trabajo de Bayrak et al [2].

Entender como cada una de estas capas se relaciona con las demás permite llevar a cabo un diseño estructurado y centrado en el usuario de los diferentes videojuegos. Un elemento fundamental es el llamado modelo mental que la persona tiene respecto del sistema. Este modelo se basa en la interpretación de parte del usuario del sistema y por las motivaciones y reservas de este. Alinear correctamente los aspectos técnicos del juego con el modelo mental del usuario genera un sistema accesible y amigable con el mismo, permitiendo que éste sepa qué hacer y cómo hacerlo.

Una de las barreras más comunes en las publicaciones analizadas es la etaria. Los adultos mayores generalmente ven a los videojuegos como una distracción o una simple forma de entretenimiento, por lo cual tienen una mayor tendencia por las terapias más tradicionales. Sin embargo, esto se está volviendo menos frecuente a medida que las generaciones llamadas “nativos digitales” se vuelven mayores.

Para minimizar esta barrera, algunas publicaciones sugieren enfocar el desarrollo en ciertos géneros particulares como las trivias de preguntas y respuestas o juegos basados en historia [10]. Además, destacan como los adultos mayores disfrutaban el aspecto social dentro del juego, ya sea desde una misma consola o a través de una conexión de red. Finalmente, considerar la disminución en la agudeza visual y auditiva, así como en la velocidad de respuesta (ya sea cognitiva o mecánica), hace más amigable al sistema con este tipo de usuarios.

Otra barrera presente es la poca destreza física. Si hay un retraso en una respuesta del sistema, esto se considera un problema de diseño y debe ser resuelto. Por otro lado, cuando el sistema detecta un retraso por parte del extremo del usuario, el mismo debe reaccionar o adaptarse de forma de ser lo más comprensible con el usuario posible, esperando un tiempo oportuno por una respuesta o solicitándola de ser necesario.

Dado que el sistema busca reducir la frustración y aumentar la comprensión de las dificultades del usuario desde la etapa de diseño, las respuestas del juego deben ser favorables al jugador al recibir respuestas con un leve retraso o pequeño error [2]. El ejemplo clásico de esto es al tratar de esquivar un obstáculo, donde incluso si el jugador reacciona un poco tarde, el obstáculo es evitado.

3. Fundamentos del trabajo

El sistema propuesto para este trabajo final de carrera se denominó MotFi, por Motricidad Fina. El mismo consiste en un dispositivo físico (interfaz de control) que permite detectar movimientos de contacto entre los dedos de una misma mano del paciente, junto a una aplicación móvil que sirve como interfaz de usuario.

Este movimiento que para una persona sana puede sonar relativamente simple, para una gran cantidad de pacientes resulta un desafío que les impide llevar a cabo algunas actividades de la vida diaria.

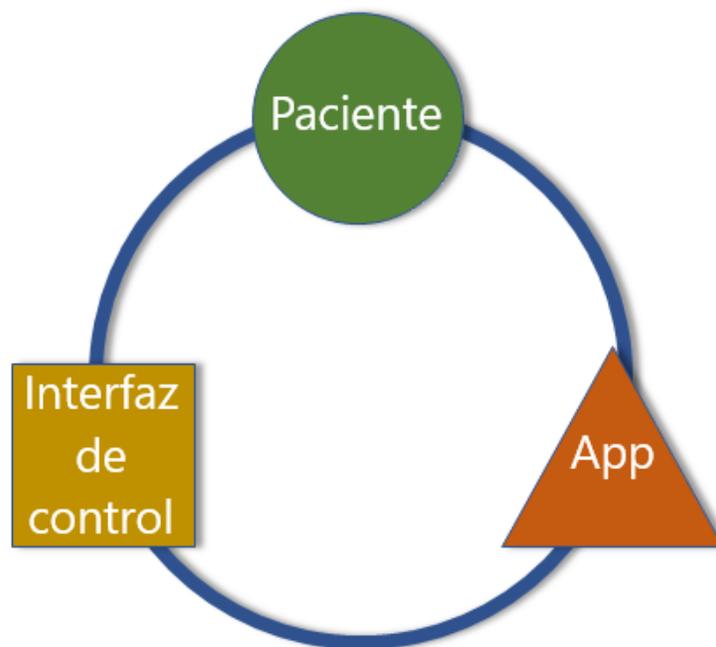


Figura 3: Los tres elementos fundamentales del sistema: El paciente o usuario, el guante o interfaz de control y la aplicación móvil.

Un gran número de situaciones pueden llevar a afecciones de la motricidad fina de la mano, además de los trastornos neurológicos analizados antes. Existen los traumatismos como por ejemplo cuando una persona sufre una caída sobre su mano o un golpe fuerte en la misma. Las enfermedades reumáticas como la artritis reumatoidea también afectan las articulaciones del miembro superior. Otro ejemplo son las enfermedades o trastornos vasculares o los casos por atrofia por desuso, la cual es secundaria a una inmovilización y potenciada por la prolongación de esta en el tiempo. Finalmente, junto a las nuevas tecnologías como

computadoras o celulares, han aparecido casos de patologías asociados a un mal uso de las mismas, como el conocido trastorno del túnel carpiano u otras tendinopatías por exceso de uso. En todos estos casos, hay una serie de enfoques o lineamientos generales que contribuyen a una mejor evolución del paciente. En primer lugar, es importante que la rehabilitación comience lo más temprano posible. Para ello el médico fisiatra responsable del paciente trabaja en conjunto con kinesiólogos y terapistas ocupacionales para poder estructurar y organizar el mecanismo de acción.

El objetivo de la rehabilitación es otorgar al paciente la mayor capacidad e independencia posibles. Para lograr una terapia efectiva y permitir al paciente volver a sus funciones en el menor tiempo posible, en esta primer instancia se deben establecer los objetivos deseados y direccionar la terapia en base a ellos. Como se busca rehabilitar funciones, cuanto más fina o específica sea la tarea que se desea llevar a cabo, más compleja será la terapia que se deba implementar. Un ejemplo claro es la diferencia entre alguien que trabaja pintando casas y una persona que trabaja en costura de ropa. Este último es un trabajo que requiere una coordinación fina significativamente mayor que el primero. Esto hará que el enfoque de la terapia para cada caso sea distinto, así como las exigencias y la complejidad de los ejercicios.

Un ejemplo concreto podría ser un hombre de unos 50 años que por alguna causa se encuentra incapacitado para realizar movimientos finos de la mano, como escribir en una computadora . Comienza su rehabilitación para poder volver a desempeñarse normalmente en su trabajo. Luego de una primera evaluación los profesionales a cargo determinarán la gravedad de su situación y llevarán a cabo un plan de acción. El hombre entonces asistirá periódicamente al centro de rehabilitación donde será evaluado y realizará determinados ejercicios. Una vez terminada la sesión, deberá llevar a cabo una serie de ejercicios para continuar estimulando las zonas afectadas, ya sea en su hogar, oficina u otro lugar. Una vez completado el tiempo estipulado por el servicio médico del paciente, pueden suceder dos cosas. Por un lado, volverá a su trabajo si se encuentra en condiciones para ello. De lo contrario, deberá encontrar la forma de seguir con la rehabilitación por más tiempo. A modo de completar el ejemplo, algunos ejercicios típicos (que varían según el grado y tipo de lesión) podrían ser flexión/extensión de muñeca o del pulgar o tocarse la yema de los dedos, tal como se ve en Fig. 4.



Figura 4: Ejemplo de movimiento de mano de una rehabilitación tradicional para un paciente que ha sufrido un ACV.

Otros ejemplos tradicionales incluyen apilar monedas, pellizcar pinzas para la ropa o incluso participar en juegos de mesa, moviendo piezas o armando rompecabezas. También se trabaja la flexión/extensión de dedos y del brazo, rotación y movimientos de estos o de la muñeca, y todo tipo de variantes que involucren movimientos suaves de la zona.

Este caso presenta una serie de problemas que se pueden aplicar a la gran mayoría de los individuos que presentan alguna afección que deba ser tratada.

- En primer lugar, dependiendo de los profesionales a cargo, el paciente podría volver a incurrir en las actividades o situaciones que lo llevaron a la incapacidad. Para esto es fundamental la mirada global y el completo entendimiento del personal de salud acerca del problema del individuo. Si por ejemplo la afección fuera del túnel carpiano, es importante que se le recomiende al paciente cambiar su teclado o mouse por elementos más ergonómicos que compensen la tensión que se aplica normalmente, para evitar que se recaiga en la incapacidad.
- Los ejercicios tradicionales de las terapias por lo general implican movimientos repetitivos y poco atractivos para los pacientes, afectando su motivación y la correcta realización de los mismos.
- Esto también se da con los ejercicios que se le solicitan al paciente llevar a cabo por fuera del centro de rehabilitación. Sin un profesional cerca para corregirlo o motivarlo,

el paciente pocas veces cumple con la tarea asignada para el hogar.

- Los elementos necesarios para estos muchos veces no se adaptan a las necesidades o a la evolución del paciente. Pelotas o bandas elásticas por ejemplo, pueden resultar muy grandes o duras en un primer momento, y al avanzar en la terapia pueden pasar a ser insuficientes para lo que se desea estimular.
- Con la metodología más tradicional de ejercicios, es imposible obtener una cuantificación precisa de los ejercicios y repeticiones que realiza el paciente en su hogar u oficina. Sólo mediante evaluaciones periódicas en la terapia se puede estimar si el mismo está llevando a cabo los ejercicios o no. Pero esto es relativo, pues tal vez los esté llevando a cabo pero los mismos no tengan el efecto esperado.

Es en estos últimos puntos donde MotFi intenta brindar nuevas herramientas para complementar la terapia de los pacientes a través de juegos y motivarlos para que lleven adelante su propia evolución. Busca introducir el concepto de lo lúdico en la rehabilitación.



Figura 5: Sistemas de entretenimiento orientados a la terapia de los pacientes.

El uso de videojuegos en la terapia de rehabilitación motora está siendo cada vez más aceptada y aplicada en una gran cantidad de afecciones. MotFi busca motivar al paciente

mediante videojuegos, con puntaje y desafíos, los cuales serán jugados mediante movimientos de contacto de las yemas de los dedos de una mano, dando las instrucciones al videojuego instalado en un dispositivo físico. Esto no sólo provee una nueva herramienta para estimular las capacidades del individuo, sino que promueve la estimulación cognitiva, ayuda a familiarizar al paciente con las nuevas tecnologías (celular o tablet) y además busca motivarlo y desafiar sus capacidades para que pueda mejorarlas.

MotFi busca estimular y mejorar la coordinación del paciente, sin generar esfuerzos que requieran fuerza. Esto permite trabajar la motricidad fina sin tener que preocuparse por potenciales daños a los tejidos por una sobreexigencia de los mismos.

Además, es un sistema que permite monitorear de forma precisa el entrenamiento. Por medio de registros se puede conocer la cantidad de repeticiones, períodos de actividad, tipos de movimientos, tiempo por tipo de juego e incluso determinar si un movimiento no se está llevando a cabo por alguna razón. Estos registros permiten a los profesionales a cargo tener una mejor visión de la evolución del paciente y adaptar los lineamientos de acuerdo a los resultados del mismo.

Como parte fundamental del entrenamiento por fuera del centro de rehabilitación, el sistema sirve también como medio de comunicación, enviando los registros de actividad por mail, evitando tener que esperar a una nueva sesión para que estos puedan ser analizados. Finalmente, MotFi permite una personalización, tanto para que el usuario se sienta más cómodo y tenga una mejor experiencia, como para la terapia y sus diferentes características. De esta forma, si el usuario prefiere jugar un determinado juego, con un tipo de personaje, con música o sin la misma, el mismo puede adaptar la terapia a sus gustos. Asimismo, el profesional a cargo establece los límites o procedimientos que crea conveniente, como por ejemplo el tiempo máximo de entrenamiento o tipo de ejercicio requerido. De igual forma, puede elegir diferentes posiciones para la mano durante el entrenamiento, como por ejemplo en altura (sobre un almohadón) en casos reumatológicos o variando la distancia al paciente de acuerdo a la evolución de la patología.

4. Concepción del producto

4.1. Caracterización del usuario

El sistema está pensado para mejorar la terapia de aquellos pacientes que:

- Presenten un trastorno neurológico o motriz que afecte la motricidad fina de una o ambas manos.
- Sean capaces de realizar movimientos puntuales con una misma mano (tocar la yema del dedo pulgar con la yema de otro dedo de la mano).
- Cuenten con la capacidad visual necesaria para poder visualizar la pantalla del dispositivo.
- Posean una capacidad cognitiva mínima para poder reconocer y entender los juegos propuestos y sus objetivos.
- Muestren interés y motivación por la rehabilitación de sus funciones afectadas.

4.2. Prospectiva

Se llevó a cabo una búsqueda en el mercado local, no encontrando productos que cumplan con funciones similares a las deseadas en el presente desarrollo.

Además, dado el análisis llevado a cabo en la introducción, hay una gran cantidad de potenciales usuarios que cumplirían con los requisitos para su uso y que busquen optimizar su rehabilitación y aumentar su motivación por la misma. Es posible que los centros de rehabilitación decidan incorporar este sistema como herramienta extra para sus rutinas utilizándolo con múltiples pacientes. Esto da la posibilidad de introducir a los usuarios al sistema y como complemento evaluar la posibilidad de continuar las rutinas de rehabilitación con el mismo en sus hogares.

4.3. Características distintivas del proyecto

El proyecto surge como solución a una gran cantidad de problemas que deben enfrentar los pacientes de este tipo de patologías. Entre sus aspectos más distintivos se encuentran:

- Llevar a cabo una herramienta de rehabilitación fuera del consultorio. Esto permite continuar con la terapia por fuera del mismo, aumentando considerablemente el tiempo potencial del trabajo de rehabilitación.
- Es un desarrollo nacional que cubre un vacío en el mercado. Hay una evidente necesidad de productos tecnológicos que le den esta característica lúdica a la terapia.
- Implica el desarrollo de un dispositivo de bajo costo, accesible para pacientes e instituciones con recursos limitados.
- Diseño de interfaces simples y amigables que permitan familiarizar a los usuarios con las nuevas tecnologías. Esto no sólo busca introducir al usuario al sistema en sí, sino también de alguna forma capacitarlo para interactuar con el resto de los sistemas digitales presentes hoy en día.
- Surge como una nueva herramienta de evaluación para conocer el estado y la evolución de ciertos parámetros del paciente. Muchas veces las terapias se llevan a cabo en base a mediciones cualitativas del estado del mismo, ya que la tarea manual de anotar las repeticiones, horas de trabajo o problemas detectados, es poco eficiente. Este sistema permite automatizar estas mediciones y se las informa tanto al paciente como al profesional a cargo de una manera clara y objetiva.
- Permite estimular el desarrollo cognitivo de los pacientes y ayudarlos a relajarse, disminuyendo el estrés físico y mental que este tipo de trastornos producen en la terapia de rehabilitación. Por ello uno de los pilares fundamentales del proyecto es generar un ambiente lúdico, que motive el aprendizaje y la autosuperación de las limitaciones que el paciente enfrenta en ese momento.

5. Objetivos

Diseñar y llevar a la práctica dispositivos orientados al uso personal fuera del consultorio, fáciles de utilizar y que provean un medio de entretenimiento para motivar al paciente es una gran oportunidad tecnológica para reducir los tiempos y mejorar la calidad de la terapia.

El presente trabajo se orientó al diseño e implementación de un prototipo para un dispositivo de estas características. En particular para ser aplicado a la rehabilitación de la motricidad fina de la mano.

Los objetivos propuestos resumen las tres características concretas y distintivas del proyecto:

- Diseño de una aplicación para dispositivos Android teniendo en cuenta nociones de *User Interface* y de *User Experience*.
- Almacenamiento de parámetros de identificación y de evolución del paciente.
- Creación automática de un informe de evolución del paciente y transmisión del mismo al profesional a cargo.
- Desarrollo de un sistema flexible que permita adaptarse al paciente y a los lineamientos de la terapia.
- Prototipado de una interfaz de control para controlar la aplicación móvil mediante conexión inalámbrica.

6. Requerimientos

6.1. Análisis de requerimientos funcionales

Se consideraron cuales son los aspectos fundamentales que debe poder llevar a cabo el sistema para proporcionar un beneficio a la terapia del paciente. En primer lugar, debido al enfoque del presente trabajo, es indispensable que el sistema pueda ser utilizado por fuera del consultorio o establecimiento donde se lleva a cabo la terapia. Esta decisión implica el desarrollo de un sistema de bajo costo, que permita a los usuarios particulares adquirir el dispositivo o a los centros de rehabilitación cederlo temporalmente a sus pacientes.

En función de esta característica, resulta indispensable que exista una vía para que el paciente pueda comunicarle al médico sus últimos resultados y su evolución a la hora de ejecutar las tareas.

En cuanto a la evolución del paciente, el sistema debe poder almacenar datos del mismo. Esta información va a ser personal y relevante al tratamiento de rehabilitación (como los últimos resultados o el tiempo de entrenamiento). Los datos solicitados son los siguientes, aunque los mismos se pueden adaptar de acuerdo a los requisitos de cada centro de rehabilitación.

- Nombre y apellido
- Sexo
- Fecha de nacimiento
- DNI
- Obra social

El sistema en sí debe contar con todos los elementos necesarios para que el usuario pueda interactuar con el mismo y comprender cuales son las tareas que debe ejecutar. Para ello se debe contar con alguna interfaz que reproduzca un juego que requiera la participación del paciente. La misma será a través de un celular o tablet, sistemas ampliamente difundidos que permitirían llegar a un gran número de usuarios.

Para poder jugarlo, el dispositivo físico debe ser capaz de leer movimientos o acciones del usuario de forma correcta, garantizando un mínimo de error en el desempeño. Además, las debe poder transmitir de forma inalámbrica al dispositivo en donde se esté proyectando el juego (celular o tablet). Es importante que sea de forma inalámbrica para poder llevar al mínimo las conexiones necesarias y para garantizar la mayor libertad de movimiento posible.

Finalmente, el dispositivo físico debe cumplir funciones básicas de funcionamiento de cualquier dispositivo, como tener una fuente de energía de algún tipo para poder desempeñarse correctamente.

De acuerdo al análisis llevado a cabo, se definen los requisitos del software y del hardware.

6.2. Requerimientos de la aplicación

Para garantizar la accesibilidad del sistema al mayor número de usuarios posibles, el sistema debe poder utilizarse en varios dispositivos. De esta forma, todos los pacientes podrían utilizar su celular (o tablet si tuvieran) como medio visual para llevar a cabo la ejercitación.

La función de comunicación con el médico es muy importante. Hoy en día existen varias formas de cumplir con esta tarea pero debido al alcance limitado del trabajo se optó por una comunicación vía e-mail, desde la cuenta del usuario hacia la cuenta del profesional a cargo.

Respecto a la información del paciente, se debe poder guardar y almacenar ciertos campos acerca del usuario, como el nombre, fecha de nacimiento, número de dni y obra social, entre otros. Esto es para poder facilitar al profesional a cargo la correcta identificación de la persona. Además, se deben almacenar campos relacionados con los parámetros de juego y la evolución del paciente. Desde elementos importantes para la terapia como el tiempo de juego y la cantidad de movimientos, como aquellos útiles para brindar una mejor experiencia de usuario, como la elección de ciertos aspectos y las preferencias del usuario.

Para poder jugar, el dispositivo envía los movimientos detectados a la aplicación, por lo que esta debe ser capaz de comunicarse con el mismo de forma inalámbrica. Se eligió una comunicación bluetooth ya que tanto el dispositivo que sensa los movimientos como el celular o tablet donde se encuentra la aplicación se encontrarán a una distancia cercana ya que el paciente debe tener contacto visual con la aplicación.

Por último, el sistema donde se ejecute el software debe ser capaz de llevar a cabo todo lo antes mencionado y además poder ejecutar un videojuego o sistema de juego para que el paciente lleve a cabo movimientos requeridos para la terapia. Esto es fundamental ya que es el objeto principal del presente trabajo. Debe presentarse un medio visual que entretenga, motive y desafíe al paciente para llevar adelante su evolución.

Nombre	MotFi
Sistema operativo	Android 4 o mayor
Comunicación dispositivo - aplicación	Bluetooth
Comunicación paciente - médico	Email
Almacenamiento	28 MB

Tabla 1: Especificaciones técnicas para la aplicación.

6.3. Requerimientos de la interfaz de control

Como se mencionó para la aplicación, la interfaz de control debe poder comunicarse con esta mediante conexión Bluetooth. Para ello, el mismo debe contar con los módulos de emisión/recepción para garantizar la conexión.

El equipo lee e interpreta movimientos y acciones del paciente. Esto implica leer botones o conexiones y procesarlos para decidir, antes de enviar información a la aplicación, que tipo de movimiento fue ejecutado y cuál es la intención del paciente al hacerlo.

Considerando el estado físico y cognitivo de los pacientes, se deben utilizar indicadores visuales o sonoros para que el usuario pueda conocer el estado del dispositivo (encendido/apagado). Para ello es fundamental contar con un LED que se encienda cuando el equipo lo haga. Además, es importante que el botón de encendido cuente con diferentes símbolos para indicar el estado, sobre todo en caso que el LED no funcione.

Para poder llevar a cabo todo esto, el dispositivo debe contar con una fuente de energía y el sistema necesario para garantizar la seguridad del paciente a la hora de manejarlo.

Nombre	MotFi_IC
Peso	250 gramos
Dimensiones	8 x 8 x 8 cm
Batería	Lipo 3.7 v
Tensión de alimentación	5 v
Conexión de alimentación	micro usb
Rango de temperatura	-20°C a 30 °C
Procesador	Atmega 328p
Comunicación dispositivo - aplicación	Bluetooth
Material del guante	Látex
Material conductor	Hilo conductor (plástico con cobre)
Material carcasa	PLA

Tabla 2: Especificaciones técnicas para la interfaz de control.

7. Materiales

7.1. Materiales de diseño

El diseño e implementación de la aplicación se llevó a cabo en el programa Android Studio versión 3.6, utilizando el lenguaje de programación Java. Como dispositivo móvil de prueba se utilizó un celular Samsung Galaxy s9 con Android 10 (en un principio 9 pero se actualizó a principios de 2020) y una tablet Samsung Galaxy Tab 3 con Android 4.2.2 (Jelly Bean).

Para la implementación del software del dispositivo se utilizó la IDE de Arduino versión 1.8.12.

Para editar los íconos y adaptarlos a los diferentes requisitos de las pantallas se utilizó la herramienta Paint 3D versión 6.1907.18017.0.

7.2. Materiales de la interfaz de control

El prototipo final cuenta con los siguientes elementos:

- Arduino Pro Mini 3.3V con procesador Atmega 328p (Atmel)
- Módulo Bluetooth HC-05
- Batería LiPo 3.7 V
- Módulo TP4056
- Switch mecánico On/Off
- Cable micro USB
- Relé
- Led azul 5 mm
- Cables varios

8. Diseño de la interfaz de control

Para llevar a cabo el diseño de la interfaz de control se analizó el marco jurídico que rodea al sistema y su aplicación. Aunque para la actual etapa de prototipado no se persigue la certificación, se siguen criterios propios para minimizar riesgos. Esto es, por ejemplo, el diseño de la alimentación de la batería de tal forma que se bloquee su uso mientras la misma está en modo de carga.

En nuestro país el encargado de registrar, fiscalizar, controlar y vigilar los productos médicos (entre otros elementos) es la Administración Nacional de Medicamentos, Alimentos y Tecnologías Médicas. Debido a las características de este producto, es considerado un producto médico para rehabilitación, por lo cual para su comercialización debe cumplir con la normativa establecida por el ente regulatorio.

Aunque en la teoría muchos de los requisitos resultan sencillos de comprender, en la práctica involucra una gran cantidad de costosos estudios y análisis experimentales, detallados en una serie de ensayos normalizados, para calificar la aptitud del producto. Este gran costo necesario para poder llevar un diseño al mercado conlleva a tener siempre en cuenta la normativa que se debe cumplir, incluso desde las primeras etapas del proceso de diseño y desarrollo.

Se separó el proceso de diseño de la interfaz de control en dos módulos, uno de hardware y uno de software.

El hardware es el conjunto de elementos físicos o materiales que constituyen un sistema informático, mientras que el software es el conjunto de programas y rutinas que permiten a la computadora (en este caso microcontrolador) realizar determinadas tareas.

8.1. Diseño de hardware

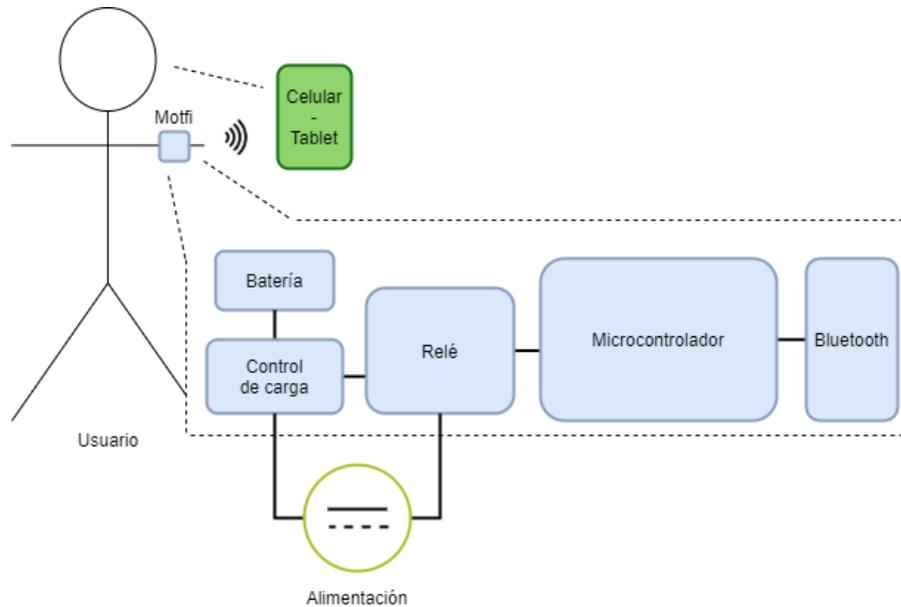


Figura 6: Vista detallada de todos los componentes de la interfaz de control. La misma está integrada por el microcontrolador, el módulo Bluetooth, el relé, el módulo de control de carga y la batería.

8.1.1. Microcontrolador

Retomando los requisitos necesarios para el funcionamiento, partimos del elemento más importante del sistema o el “cerebro” del mismo, el microcontrolador.

Un microcontrolador es un circuito integrado programable, capaz de ejecutar las órdenes grabadas en su memoria. Está compuesto de varios bloques funcionales que cumplen una tarea específica. Para poder llevar a cabo la elección de un componente se deben tener en cuenta tres factores que están relacionados entre sí, la performance, el costo y el consumo.

Al hablar de capacidad de procesamiento debemos mencionar la conocida “Ley de Moore”. La misma expresa que cada dos años aproximadamente se duplica el número de transistores en un microprocesador. Esto implica que cada vez más componentes se pueden incluir en un mismo sistema (y de forma más barata), obteniendo productos más abundantes, poderosos e integrados en todo tipo de aplicaciones. Desde supercomputadoras hasta elementos simples como semáforos o juguetes para niños pueden contar con una capacidad de procesamiento que evoluciona constantemente. Esto permite el desarrollo de proyectos como MotFi,

sistemas de bajo costo y fácil implementación, que no requieren grandes inversiones ni una maquinaria especializada para llevarlos a cabo.

Gracias a esta evolución y abaratamiento de los costos, ha habido un crecimiento exponencial en la oferta y demanda de estos sistemas que permiten a las personas introducirse en la programación y la robótica, siguiendo alguno de los tutoriales ampliamente presentes en internet. Uno de los ejemplos más populares en el mundo es Arduino.

Arduino es una compañía de desarrollo de software y hardware que nace a partir de la necesidad de estudiantes de acceder a placas de desarrollo acordes a sus limitados presupuestos. Esto es justamente el factor principal que lo llevó a ser uno de los sistemas más utilizados para el desarrollo y pruebas de prototipos e incluso en algunos casos implementación de productos finales.

El sistema propuesto para el presente trabajo implica desde el lado del dispositivo una capacidad de procesamiento muy sencilla. A grandes rasgos, sólo debe ser capaz de leer una serie de puertos y comunicar su información a un dispositivo móvil, el cual va a ser el encargado de todo el procesamiento de la información. Esto junto a la gran capacidad de procesamiento de los sistemas actuales, hace que no sea un factor fundamental a tener en cuenta a la hora de elegir la placa de desarrollo.

Diferente es el caso al hablar sobre el costo y el consumo, ya que estos dos sí resultan de gran importancia a la hora de implementar es un diseño de bajo costo. Además, el consumo debe ser bajo para que la batería pueda ser lo más pequeña posible y que dure, al menos, una sesión de entrenamiento.

Para llevar a cabo el prototipo se optó por utilizar un microcontrolador Arduino Pro Mini 3.3V Atmega 328p. Como se mencionó previamente, estos productos están optimizados para el desarrollo rápido y sencillo de prototipos. Además, este modelo en particular está pensado para aplicaciones de bajo consumo y donde el tamaño del dispositivo juega un rol importante en el sistema. Dado que el mismo va a ser colocado en el brazo del usuario, un bajo peso y practicidad van a ser dos características deseadas para el mismo.

8.1.2. Comunicación Bluetooth

El siguiente componente en orden de importancia es el módulo encargado de la comunicación entre el dispositivo físico que mide los movimientos del paciente y el dispositivo móvil donde se encuentra la interfaz del usuario. Debido a las características del sistema, esta comunicación se debe llevar a cabo de forma inalámbrica. Además, debe poder llevarse a cabo entre diferentes dispositivos como distintos modelos de celulares o tablets. Dos de las opciones más populares y fácilmente accesibles son mediante Wi-fi o mediante Bluetooth.

Wi-fi (Wireless Fidelity) es un estándar de comunicación (802.11) pensado originalmente para ser utilizado en pequeñas redes donde se busca establecer una conexión a Internet. Hoy en día la gran mayoría de los dispositivos móviles y tablets cuentan con los elementos necesarios para establecer este tipo de conexión, y se encuentran en el mercado módulos para integrar junto a un microcontrolador. Sin embargo, en general resulta más complejo establecer esta comunicación y además estas implementaciones suelen ser de mayor consumo y más costosas que la comunicación vía Bluetooth.

Por estas razones es que para el prototipo llevado a cabo se optó por utilizar una comunicación inalámbrica mediante el estándar Bluetooth. Este originalmente fue pensado para el intercambio de información entre dos dispositivos ubicados a una corta distancia. Debido a su amplia difusión para la elaboración de pequeños proyectos, existe una gran oferta y variedad de módulos que permitan establecer esta conexión. Además, así como los dispositivos actuales tienen la opción de conectarse mediante Wi-Fi, la gran mayoría también cuenta con los elementos necesarios para una conexión Bluetooth.

Finalmente, se optó por utilizar el módulo HC-05, el cual es ampliamente utilizado para proyectos de este tipo y tiene la ventaja de que puede ser alimentado con un rango que va desde los 3.6V hasta los 6V, perfecto para ser utilizado con el microcontrolador elegido.

8.1.3. Sensores de contacto

Para poder medir los movimientos de la manera más sencilla posible, se utilizó un sistema mediante el cual, al realizar uno de los movimientos solicitados, simplemente se cierra un circuito eléctrico permitiendo medir tensión en uno de los puertos digitales del

microcontrolador. Como se ve en la figura siguiente, cuatro sensores están conectados a cuatro dedos del paciente y a su vez a la tierra del dispositivo. A su vez, el dedo pulgar se encuentra conectado a una tensión de 5V, por lo que cuando se produce un contacto entre este dedo y otro, esta tensión puede ser detectada por el sensor correspondiente y el microcontrolador analiza esta señal.

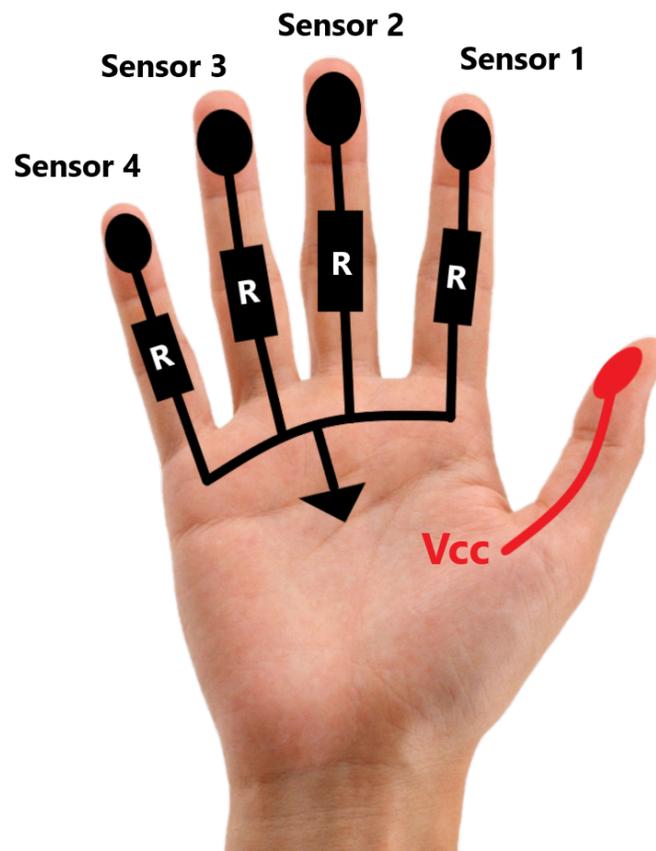


Figura 7: Conexiones para el sensado de movimientos

Es importante notar la configuración de *Pull-Down* deseada. Esto significa que en un estado como el de la imagen, los cuatro sensores estarán midiendo una tensión igual a cero. Esta metodología se utiliza ya que si se dejaran los sensores como un circuito abierto sin conexiones, los sensores medirían constantemente valores aleatorios, introduciendo ruidos a la señal. Además, se utilizan cuatro resistencias para evitar un cortocircuito al conectar

directamente la tensión del pulgar con la tierra en la que se encuentra cada uno de los dedos.

8.1.4. Alimentación

El sistema debe tener una fuente de energía para poder funcionar. Se descartó la idea de una conexión directa a la red eléctrica por cuestiones de seguridad y por simplicidad. Mientras haya menos cables presentes, más fácil será utilizar el sistema. Por lo tanto, MotFi debe contar con una batería que le permita almacenar energía para utilizar mientras esta no se esté cargando. Este último es un punto importante, para minimizar el riesgo de un accidente eléctrico, el usuario no podrá utilizar el dispositivo si este se está cargando.

Para ello, se utilizó un relé. Este componente es un dispositivo electromagnético. Funciona como un interruptor controlado por un circuito eléctrico en el que, por medio de una bobina y un electroimán, se acciona un juego de uno o varios contactos que permiten abrir o cerrar otros circuitos eléctricos independientes. Para el caso de MotFi, el relé cumplirá la función de interrumpir la alimentación del sistema si se detecta una fuente externa, con lo cual sólo se procederá con la carga de la batería. De esta forma, un interruptor físico que no depende del software garantiza un riesgo mínimo durante la carga.

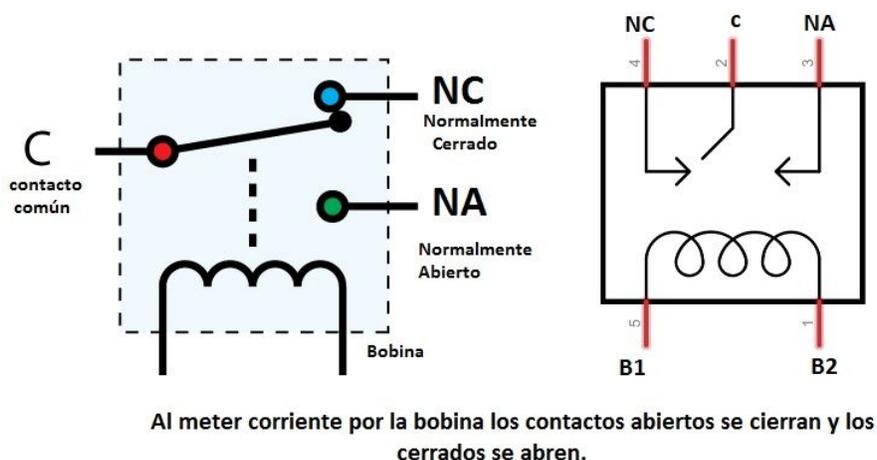


Figura 8: Configuración interna de un relé.

8.1.5. Batería

La elección de la batería no es un tema menor, ya que de esta dependerá la duración del funcionamiento del sistema.

Se decidió utilizar baterías recargables por dos motivos. En primer lugar, utilizar baterías no recargables implicaría un mayor costo para el usuario ya que debería comprar nuevas baterías cada vez que una se termine de utilizar. En segundo lugar, este recambio de baterías implica un impacto en el ambiente que es fácilmente evitable con el uso de baterías recargables, teniendo una logística más amigable con el medio.

Dentro de las baterías recargables hay una gran cantidad de opciones, entre ellas las de níquel-hidruro metálico, las de litio-ion y las de litio-ión-polímero (LiPo). Se optó por estas últimas ya que proveen una gran capacidad para su bajo peso, su tamaño es muy práctico para esta aplicación y además son baterías ampliamente difundidas y muy fáciles de conseguir. Dado que vienen en una gran variedad de tamaños, se optó por una de 3.7 V ya que es el tamaño más chico que permite alimentar a todo el sistema.

Sin embargo, estas baterías tienen un particular riesgo de seguridad debido a su estructura. Además, son particularmente susceptibles a problemas de sobre-descarga, sobre-carga, exceso de corriente, pinchaduras y exceso de temperatura. Para este problema, se incluye un módulo de control de carga.

Este módulo es el TP-4056, comúnmente utilizado en gran variedad de proyectos y productos comerciales que utilizan este tipo de baterías, como por ejemplo una gran cantidad de drones. Este circuito electrónico regula la carga y descarga de la batería para evitar los problemas antes mencionados.

8.2. Diseño de software

El procesamiento que debe llevar a cabo el microcontrolador es relativamente sencillo. Por un lado, se debe leer la información del módulo Bluetooth para determinar si hay un dispositivo conectado. Si efectivamente lo hay, se espera una señal de confirmación para iniciar la lectura de los movimientos, o entrar en lo que se determinó el estado “Encendido”.

En la siguiente figura vemos una representación de este proceso.

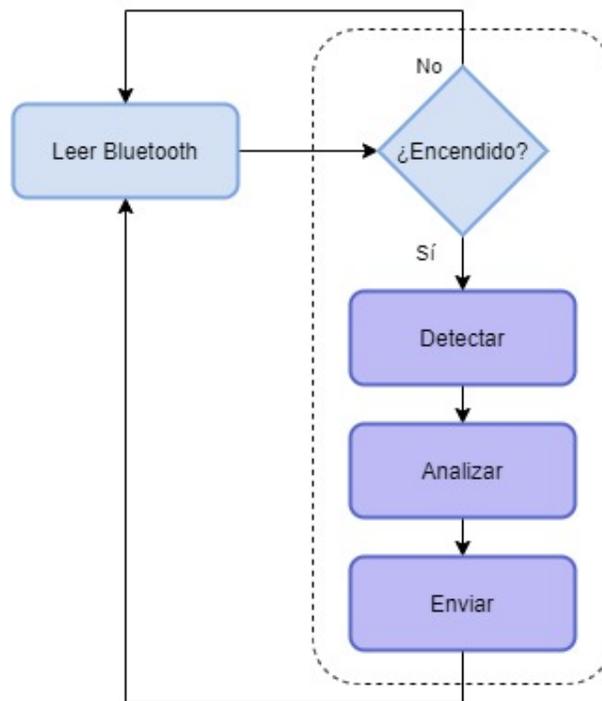


Figura 9: Diagrama de los bloques de procesamiento de la interfaz de control, software implementado en el microcontrolador.

Como se ve, siempre se va a recurrir a la lectura del módulo Bluetooth para determinar si en algún momento el dispositivo ha recibido la señal de terminar de leer, pasando al estado “Apagado”. Esto se lleva a cabo como proceso de mayor prioridad y todo el tiempo por una cuestión de optimización y ahorro energético. Si el usuario no desea conectarse al dispositivo por alguna razón, no es necesario estar analizando los puertos todo el tiempo. Una vez que el sistema se encuentra en el estado “Encendido”, hay tres grandes procesos que se llevan a cabo:

- **Detectar.** En este punto, se leen de forma secuencial todos los puertos configurados del sistema. Es decir, se comienza por el sensor número 1, luego el 2, luego el 3 y finalmente el cuarto sensor. Cada uno de estos valores se almacena en una variable diferente para ser analizada a continuación. Volviendo a la figura de la mano con los sensores, el dedo pulgar está configurado para tener una tensión de 3.3 V que es la que va a ser detectada en cada una de estas lecturas al darse el contacto.
- **Analizar.** Aquí se lleva a cabo un proceso un poco más complejo en el que dependiendo

de los movimientos anteriores y del detectado actualmente, se decide qué orden enviar a la aplicación del dispositivo móvil mediante la conexión Bluetooth. Si bien en un primer momento se consideraba sólo la detección de 4 movimientos, la lógica del sistema se fue complejizando para llegar a obtener hasta 10 movimientos diferentes. Por un lado, cada dedo tiene dos formas de detección, presionar y soltar o bien, mantener. Para el sistema de juego, esto brinda mayores posibilidades de control, para llevar a cabo una acción si se aprieta un sensor o llevar a cabo una diferente si se mantiene presionado (por ejemplo, mantener presionado durante 5 segundos el dedo índice pausa el juego o lo vuelve a iniciar respectivamente). Los dos movimientos restantes se obtienen al combinar la detección de dos sensores adyacentes en un tiempo muy acotado. Esto simula una acción de deslizar hacia arriba o hacia abajo, permitiendo aún más libertad de movimiento al usuario, sin añadir nuevos componentes físicos al sistema. Por ejemplo, si el usuario presiona el dedo mayor e inmediatamente después el dedo índice, representaría un deslizamiento hacia arriba.

- **Enviar.** En este módulo se envía el movimiento detectado al dispositivo móvil mediante la conexión preestablecida y por el módulo Bluetooth. En el caso de no detectarse movimiento alguno, se saltea esta etapa. Para el caso puntual en que se esté manteniendo presionado uno de los sensores, lo que sucede es que se envía una secuencia especial al detectar que se deja de mantener presionado.

9. Diseño de la aplicación

Para el diseño de la aplicación se investigó acerca del funcionamiento general de las aplicaciones móviles y el entorno que las rodea.

El sistema mediante el cual cualquier dispositivo móvil controla todos sus procesos básicos y permite el funcionamiento de otros programas es el sistema operativo. Los más importantes a nivel global son Android (alrededor del 75 % del mercado) y iOS (alrededor del 25 % del mercado). El resto de los sistemas operativos realmente juegan un papel poco significativo al lado de estos dos actores. Debido a la popular característica de código abierto de Android y a su extrema facilidad para desarrollar y probar nuevas aplicaciones, se decidió optar por diseñar una aplicación nativa para este sistema. Si bien Android Studio permite programar en Java o en Kotlin, se eligió el primero por experiencia previa manejando este lenguaje. Finalmente, un punto a destacar de Android Studio es la posibilidad de generar de manera semi-automática la documentación necesaria. Si bien se necesitan agregar comentarios y declarar ciertos parámetros para que la información sea más completa y entendible, es muy fácil generar la documentación del código. Esto resulta muy útil a la hora de desarrollar software ya que permite un mejor flujo de información entre los integrantes del equipo, siendo más claro el objetivo y funcionamiento de cada parte del código. Además, al realizarse de forma automática, se cuenta con una descripción actualizada del sistema. En la sección de “Implementación de la aplicación” se detalla más al respecto.

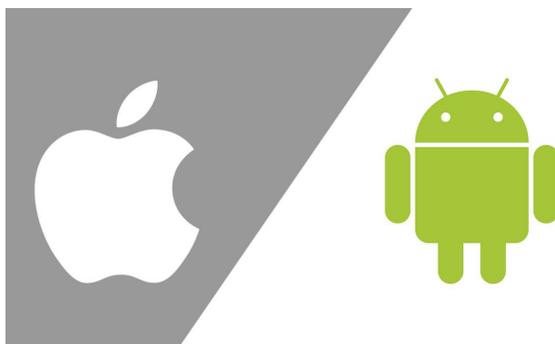


Figura 10: Los grandes actores del mercado móvil: Apple y Android.

Una aplicación nativa está desarrollada y optimizada específicamente para el sistema operativo determinado y la plataforma de desarrollo del fabricante, en este caso Android.

Más adelante, en la sección de “Implementación de la aplicación”, se discutirá acerca de las diferentes capacidades, estructuras y formas de funcionamiento de las aplicaciones en este sistema operativo. Lo que resulta de interés para el diseño es lo que se denominan “Actividades”.

Una actividad en Android es un componente encargado de la mayoría de interacción con el usuario. Es el bloque de construcción encargado por la creación de una ventana que la aplicación usa para dibujar y recibir eventos del sistema (gestos táctiles como *tap*, *swipe*, *press and hold* y otros). Android está hecho para que el usuario esté centrado en una sola actividad para que sea la única cosa que esté haciendo, lo que quiere decir que tan solo una puede estar en primer plano. Estas cuestiones más técnicas serán analizadas más adelante, lo que importa para esta etapa es que el sistema va a estar dividido en grandes bloques que van a representar una pantalla. Además de ellos, se cuenta con estructuras de programación como clases, *handlers*, *threads*, etc.

Para el diseño general se retomaron los requerimientos necesarios y se los dividió en cuatro grandes categorías: juegos, perfil, evolución e informe.

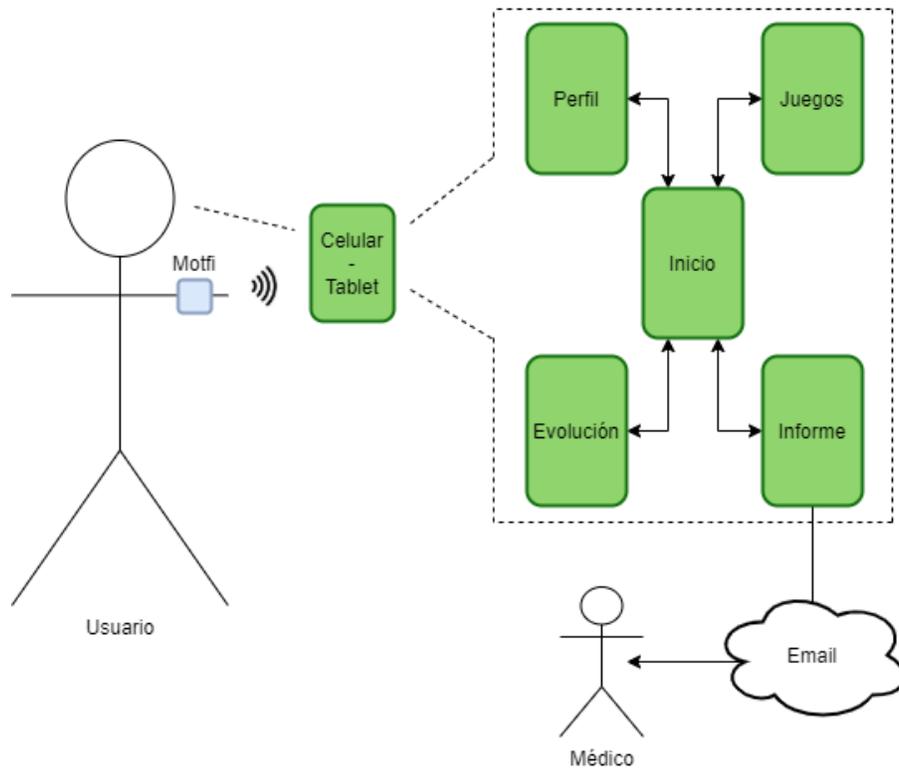


Figura 11: Esquema general del procesamiento llevado a cabo en la aplicación. La misma se divide en cuatro grandes módulos: juegos, perfil, evolución e informe.

Con esta separación se consideran todos los requisitos funcionales de la aplicación. La sección de juegos será la encargada de representar los desafíos visuales y permitir que el usuario lleve a cabo los ejercicios requeridos; en perfil el usuario puede ingresar sus datos personales para poder ser identificado por los profesionales a cargo; en la parte de evolución el mismo podrá ver diferentes gráficos e información de su progreso en la rehabilitación; finalmente en la sección informe, podrá comunicarle de sus últimos avances al médico encargado de su terapia mediante alguna aplicación de e-mail.

Si bien hoy en día existen muchas opciones para trabajar con servidores y bases de datos que permitan una mejor vía de comunicación entre las partes, debido a los alcances del trabajo se prefirió esta metodología. Sin embargo, se siguieron todos los lineamientos para garantizar que, de querer aplicar este tipo de sistemas, la aplicación sea rápidamente adaptable.

Aunque estos componentes cubran los requisitos, para poder ser utilizada la aplicación debe contar con una gran cantidad de elementos y estructuras que interactúen entre sí.

Orientando el diseño a lo que se va a implementar y las herramientas disponibles, en la siguiente figura se observa una estructura más compleja del sistema pero que resulta de gran ayuda para la implementación final.

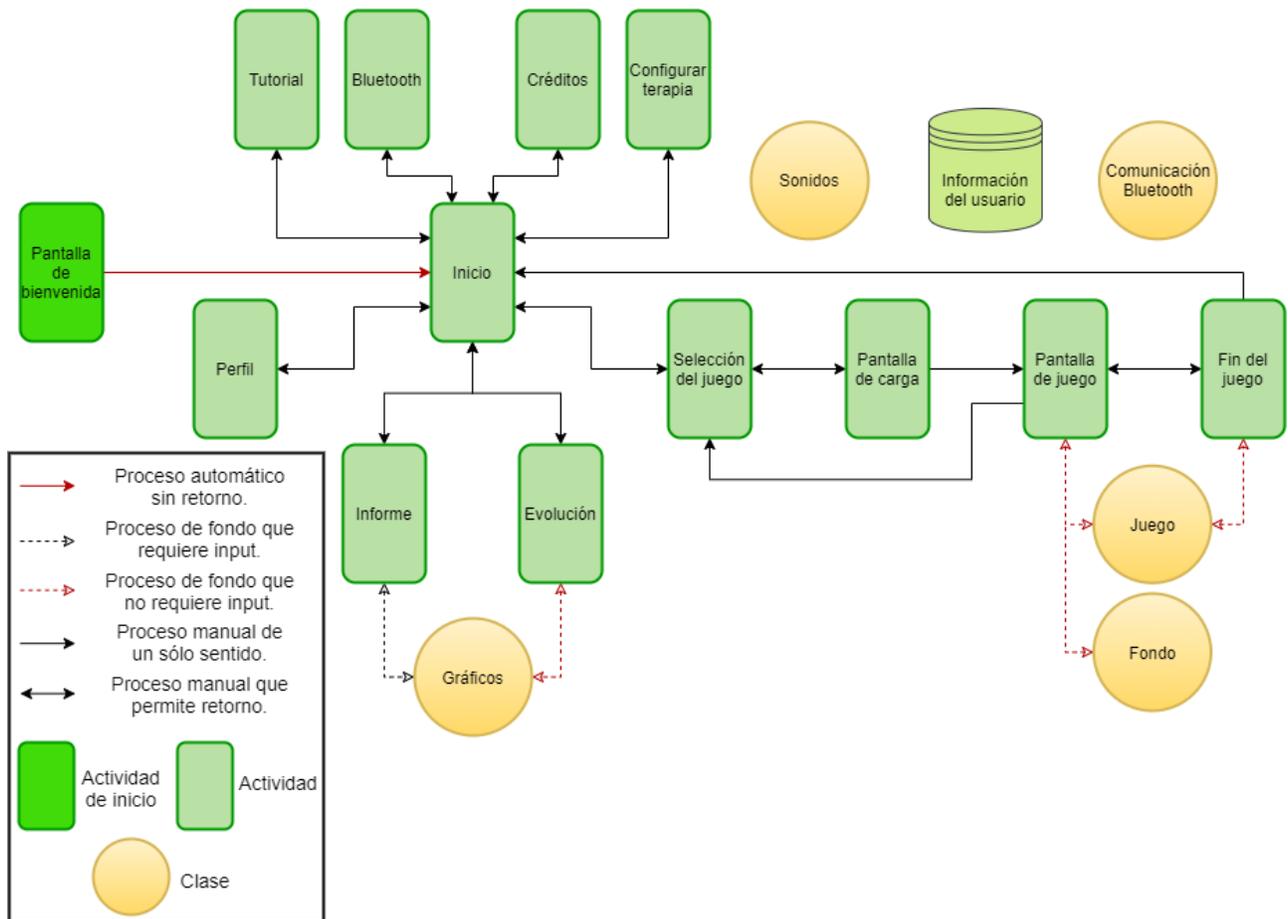


Figura 12: Diseño más complejo y orientado a la implementación. El procesamiento se divide en diferentes actividades, clases y ficheros.

Podemos ver como se subdividió el módulo de juego a fin de tener un proceso más claro y poder analizarlo en sus diferentes partes. Se agregaron nuevas actividades y se definieron algunas estructuras. A continuación se profundiza sobre cada una.

9.1. Aspectos generales

Pantalla de bienvenida

Esta pantalla es lo que se conoce como pantalla de *Splash* en Android. La misma aparece sólo cuando la aplicación se abre, sin haber estado activa de fondo. Es decir, si por ejemplo mientras el usuario está en la pantalla de inicio decide abrir otra aplicación, cuando decida volver a MotFi seguirá estando en la pantalla en la que se encontraba. En cambio, si cerrara todos los procesos o por ejemplo apagara el celular, al volver a iniciar la aplicación sí aparecería esta pantalla.

Las pantallas de este tipo cumplen la función de mostrar algo rápidamente al usuario mientras la pantalla de inicio termina de procesar, para que no parezca que la aplicación se demora en abrir por algún problema.

Si bien debido a la simplicidad del proyecto esta pantalla podría no ser necesaria, se incluyó por dos motivos. En primer lugar por cuestiones de escalabilidad, si se quisiera ampliar la aplicación, ya estaría implementada. En segundo lugar, para que MotFi se asemeje lo más posible a una aplicación oficial que podría haberse descargado de la tienda de Google.

Inicio

La pantalla de inicio o la actividad principal es desde donde el usuario puede dirigirse al resto de las actividades. Aquí es donde se permite establecer la comunicación vía Bluetooth con el dispositivo.

Tutorial

Desde aquí se presenta una ayuda al usuario nuevo o a aquel que quiera saber cómo interactuar con la aplicación. Para este tipo de sistema es importante que las instrucciones y objetivos sean claros y simples, pero además se debe contar con un tutorial para guiar al usuario. Estando familiarizado con la lógica y la estructura del sistema, el mismo podrá navegar de forma más cómoda entre las diferentes pantallas.

Si bien este debería incluir la gran mayoría de las actividades, para los aspectos de este

proyecto se focalizó su uso para la pantalla de inicio, para aclarar el uso de cada uno de los grandes módulos mencionados previamente.

Bluetooth

Esta actividad permite gestionar los parámetros necesarios para poder conectar la aplicación con el dispositivo físico. No se encarga de la conexión en sí, sino de parámetros que se requieran para la misma, en particular la elección de la dirección Bluetooth apropiada. Es común que un mismo dispositivo como el celular se utilice con otros como un parlante, por lo que es necesario indicarle al sistema con cuál de dichos elementos se debe establecer la conexión.

Créditos

Esta pantalla permite darle crédito a los autores de las imágenes, música y sonido utilizados. En una aplicación real, además se incluyen a todas las personas incluidas en todo el proceso de desarrollo, aunque en este caso se limitó a un solo individuo.

Configurar terapia

En esta instancia se establecen los parámetros que el personal de salud crea conveniente para cada paciente, como por ejemplo el tiempo máximo de entrenamiento.

Además, para el caso de las tablets se incluye la opción de cambiar de usuario. De esta forma, un mismo centro terapéutico puede utilizar un sólo dispositivo para el tratamiento de varios pacientes. Esto les permitiría llevar el historial de todos y poder comparar el desempeño de cada uno y entre ellos. Para el prototipo final, se decidió implementar esta opción de forma reducida a modo de prueba visual, con lo que no es posible intercambiar entre datos históricos de diferentes pacientes.

9.2. Perfil

Aquí el usuario completa su información personal para que pueda ser identificado correctamente. Además, se le permite reiniciar toda la información almacenada, tanto los datos

personales como el historial de entrenamiento. Esto es por una cuestión de seguridad y para darle al usuario completa autoridad sobre sus datos.

9.3. Informe

A través de esta pantalla se comunican los resultados del entrenamiento, junto con la información personal del usuario. El mismo puede incluir un mensaje personal para el destinatario, así como un asunto para el e-mail.

9.4. Evolución

Esta actividad muestra la evolución del usuario a lo largo del tiempo. A través de algunos parámetros como el tiempo de juego, cantidad de movimientos e incluso los puntajes máximos obtenidos, se motiva al usuario a seguir practicando. Permite obtener resultados cuantitativos del efecto del juego en el individuo y de su motivación por el mismo. Esto es muy importante para el responsable de la terapia, ya que puede variar la exigencia del entrenamiento o los tipos de ejercicios llevados a cabo a fin de optimizar la evolución del paciente.

En esta actividad hay dos secciones, una que muestra el progreso con la interfaz de control y otra sin la misma. Se debe distinguir entre ambos estados para no sumar tiempo de juego al tiempo de entrenamiento y viceversa.

9.5. Juego

Selección del juego

Esta pantalla permite seleccionar entre los diferentes tipos de juegos que brinde el sistema, mostrándolos de una forma clara al usuario.

Pantalla de carga

Esta actividad tiene como objetivo preparar al usuario para el comienzo del juego, indicando que se están cargando los aspectos necesarios del mismo.

Pantalla de juego

Este es el principal elemento del módulo de juego, donde se visualiza el sistema de juego. En esta instancia se lleva a cabo todo el procesamiento necesario para analizar la información obtenida del usuario (los movimientos que este realiza) y reaccionar a la misma de forma adecuada. Esta pantalla se convierte así en el componente fundamental para la motivación del usuario, ya que le provee del *feedback* necesario para comprender las consecuencias de las acciones que lleva a cabo en el juego, tanto visual como sonoro.

Un aspecto fundamental es que cuente con alguna forma de parar o pausar el juego, de forma que permita que el usuario descanse o simplemente lleve a cabo otra tarea antes de continuar con el mismo. Además, se debe ingresar en este estado de forma automática cuando la aplicación pasa a un segundo plano (debido a que se abrió o seleccionó otra) y así evitar una mala experiencia de usuario.

Fin del juego

Una vez finalizado el juego por alguna razón, esta pantalla le indica al usuario de este hecho. Desde aquí el mismo puede comenzar una nueva partida o volver a la pantalla de inicio para dirigirse a otra de las secciones, como por ejemplo para ver su progreso reciente o enviarle sus últimos resultados a su médico.

9.6. Clases

Las clases son un componente no visual muy importante, ya que permiten estructurar el código y hacerlo fácil de comprender y utilizar.

Sonido

Esta clase es responsable de cargar y reproducir todos los efectos sonoros del sistema. Desde pequeños sonidos de pulsadores para los botones hasta la música que se repite continuamente en los juegos.

Gráficos

Esta clase no está relacionada con los juegos sino con la evolución de los usuarios. Se encarga de la creación y gestión de los gráficos que muestran el progreso en los diferentes juegos, tanto con y como sin la interfaz de control.

Juegos

Esta clase lleva a cabo todo el procesamiento para cargar los elementos correspondientes a cada juego, mostrar los diferentes componentes visuales, reproducir los sonidos pertinentes y establecer las relaciones entre ellos. Además, aquí se controlan parámetros importantes del juego como la puntuación y la cantidad de vidas.

Fondo

Esta clase administra la pantalla de fondo para evitar tener una imagen estática que se torne aburrida en muy poco tiempo. Además, registra parámetros del dispositivo como el tamaño de la pantalla disponible para adaptarse a la misma.

9.7. Información del usuario

Toda la información del usuario se almacena en lo que se conoce como *Shared Preferences*. No solo los datos personales sino preferencias del sistema (como si el sonido del juego está activado o no) y los datos históricos de progresión.

Esta forma de almacenar la información se basa en el uso de pares clave - valor. Estas son almacenadas en ficheros “.xml” dentro de los datos de la aplicación. Esto tiene una ventaja que es que cuando el usuario desinstala la aplicación, toda la información del mismo será eliminada. La desventaja es, lógicamente, que si esto se realiza de forma accidental, no hay forma de recuperar los datos.

Este es un mecanismo liviano para guardar la información, ya que en definitiva lo que se requiere almacenar son caracteres o números para todas las opciones del sistema.

A lo largo de todas las actividades y clases se puede acceder de forma sencilla a los valores, sólo se necesita solicitarlos mediante la clave correspondiente. Esto agiliza la lógica,

minimizando los datos que se deben pasar de una actividad a otra.

9.8. Comunicación Bluetooth

Desde el momento en que el usuario establece la conexión Bluetooth con el dispositivo, se activa este módulo y se mantiene procesando la comunicación mientras no se cierre la misma. Este proceso se lleva de fondo en todo el sistema para permitir que el usuario pueda navegar a través de todas las pantallas sin necesitar un contacto con la pantalla del dispositivo móvil. De esta forma, se le otorga la mayor independencia posible al usuario, necesitando el contacto con la pantalla sólo para establecer la conexión entre ambas partes.

Esta decisión busca darle al usuario una mayor comodidad y brindarle a los profesionales de la salud o las personas que deban utilizar el dispositivo por ellos una menor carga de trabajo. Si se considera que muchos de los pacientes que podrían utilizar el sistema para sus terapias no cuentan con la destreza necesaria para manejar correctamente un celular o tablet, este aspecto cobra mucha importancia.

10. Implementación de la interfaz de control

En cuanto al desarrollo de la interfaz de control, la misma se basó en la implementación y prueba de diferentes módulos, para poder finalmente juntarlos en un único sistema que va a leer los diferentes sensores, analizar el movimiento realizado y comunicarlo a la aplicación móvil. A continuación se presenta en orden cronológico como se fueron desarrollando los diferentes módulos para llegar al sistema final.

10.1. Detección de movimientos

El primer paso para ello fue llevar a cabo la lógica de los sensores de los dedos. Como se explicó previamente, los mismos consisten en una lógica simple mediante el uso de resistencias de forma Pull-Down. Esto quiere decir que en el caso estándar, sin ningún tipo de contacto, los sensores van a detectar la tensión correspondiente al pin de tierra del microcontrolador. En Fig. 13 se ve una representación clara del funcionamiento explicado:

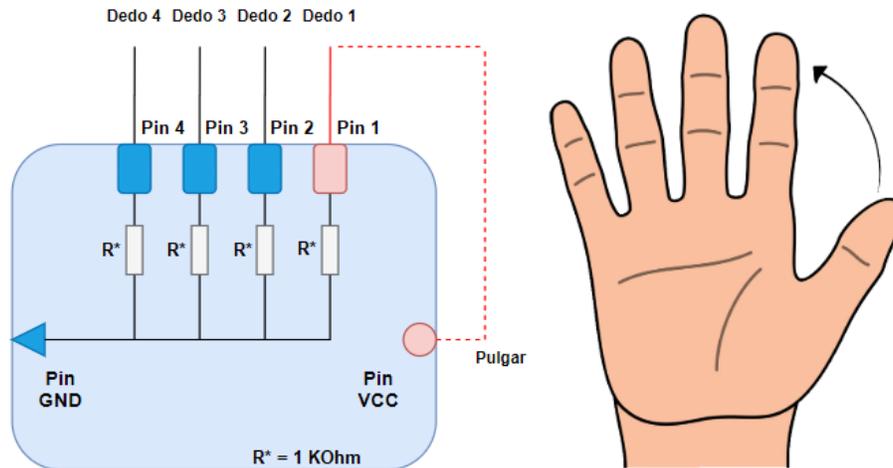


Figura 13: Representación del cambio en la tensión detectada por un sensor al entrar en contacto con el dedo pulgar. Mientras que para los sensores de los dedos 2,3 y 4 (mayor, anular y meñique respectivamente) la tensión corresponde al pin de GND, para el sensor del dedo 1 (índice) corresponde al pin de VCC.

Esta lógica simple de funcionamiento permite entender a cada dedo como si fuera un botón, que es apretado cada vez que el dedo pulgar entra en contacto con ellos. Sin embargo, hay algunas cuestiones fundamentales que deben ser tenidas en cuenta para lograr un sistema

fluido y libre de errores. Por un lado, siempre que se trabaja con botones se debe tener en cuenta que, aunque a simple vista consista en un movimiento único, las diferentes partes van a hacer contacto varias veces hasta quedar en su posición final. Si se analiza en un osciloscopio, se observa el siguiente comportamiento:

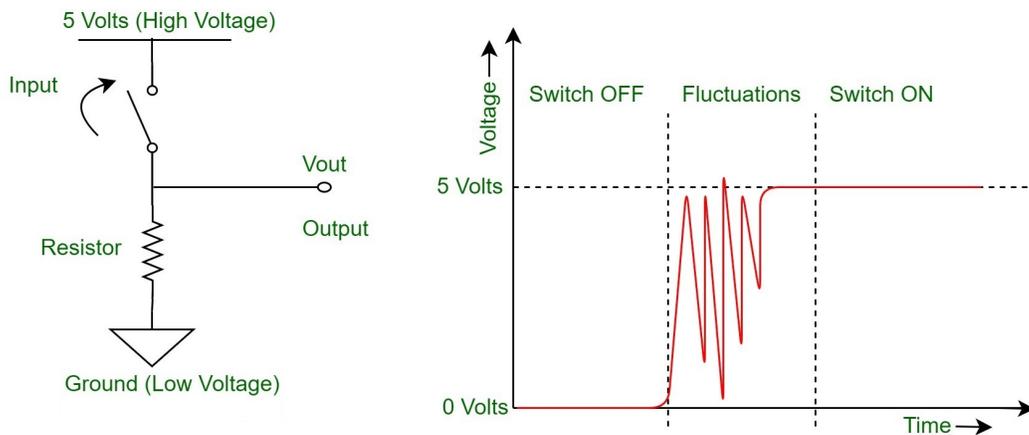


Figura 14: Medición en el tiempo de un botón al cambiar su estado de apagado a encendido. Se observa como en un estadio intermedio la medición oscila entre valores de ambos estados.

Esto quiere decir que la lógica de nuestro sistema debe ser capaz de reconocer todas esas variaciones como un solo movimiento (si bien este problema se puede resolver también de forma externa con el uso de capacitores, hacerlo desde el software es un trabajo sencillo). Pero además, debe hacerlo con la suficiente precisión para poder detectar dos movimientos consecutivos en muy poco tiempo que si hayan sido intencionales. Si consideramos la función de desplazamiento entre un dedo y otro, hay muy poco tiempo entre la detección del movimiento en cada sensor. Sin embargo, para un microprocesador estos son tiempos relativamente “largos” y no resulta en una complicación significativa, solamente debe ser tenido en cuenta y evitado.

Por el otro lado, como se mencionó en secciones anteriores, el sistema se fue complejizando para poder detectar hasta diez movimientos diferentes a partir de los mismos cuatro sensores. Esto es posible gracias a un análisis temporal teniendo en cuenta el movimiento anterior. Por ejemplo, si se detecta que el dedo índice fue presionado y en la lectura siguiente se vuelve a detectar, se va a entender que en realidad el mismo está siendo mantenido. Si, en cambio, la lectura siguiente indica que ningún sensor fue presionado, entonces el dedo

índice fue simplemente presionado. Un tercer caso se puede dar si el dedo presionado fuera el mayor, dando lugar al movimiento de desplazamiento hacia abajo.

En la siguiente imagen se representa una imagen general del funcionamiento de la lógica descrita previamente.

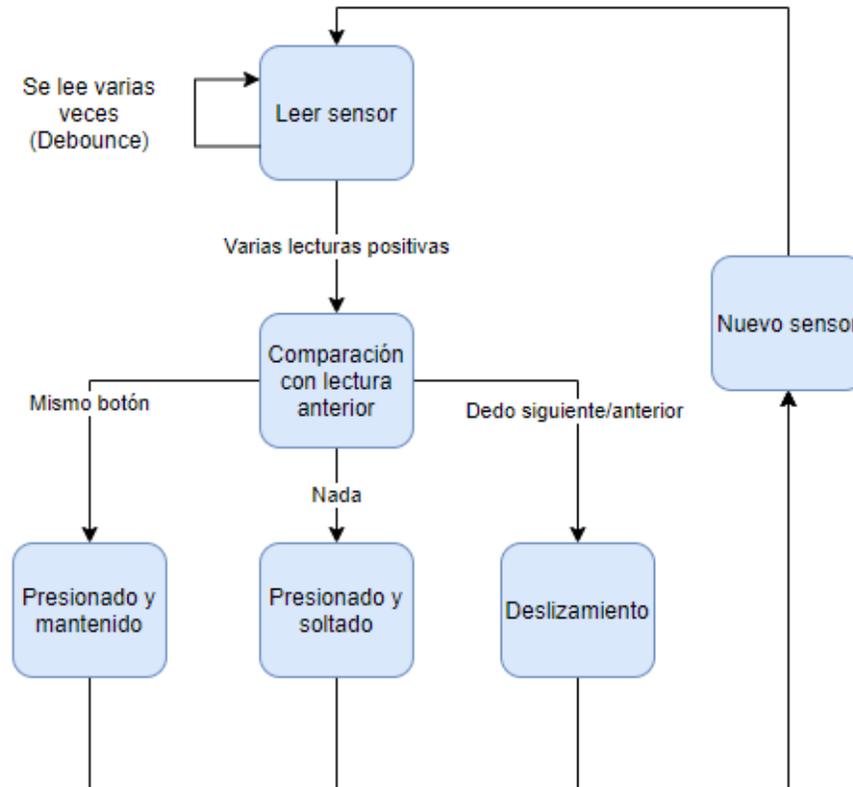


Figura 15: Representación de la lógica de control para poder detectar hasta diez movimientos diferentes a partir de los cuatro sensores.

10.2. Comunicación Bluetooth

El siguiente paso fue establecer una comunicación inalámbrica entre la aplicación móvil y el microcontrolador. El módulo HC-05 utilizado tiene dos características que lo hacen óptimo para el uso en este sistema. Por un lado, tiene una lógica de funcionamiento a 3.3V, con lo cual puede ser conectado directamente con el microcontrolador. Por el otro, puede ser alimentado por la batería LiPo utilizada. Las conexiones que se implementaron consisten en dos cables de alimentación y dos cables para la comunicación.

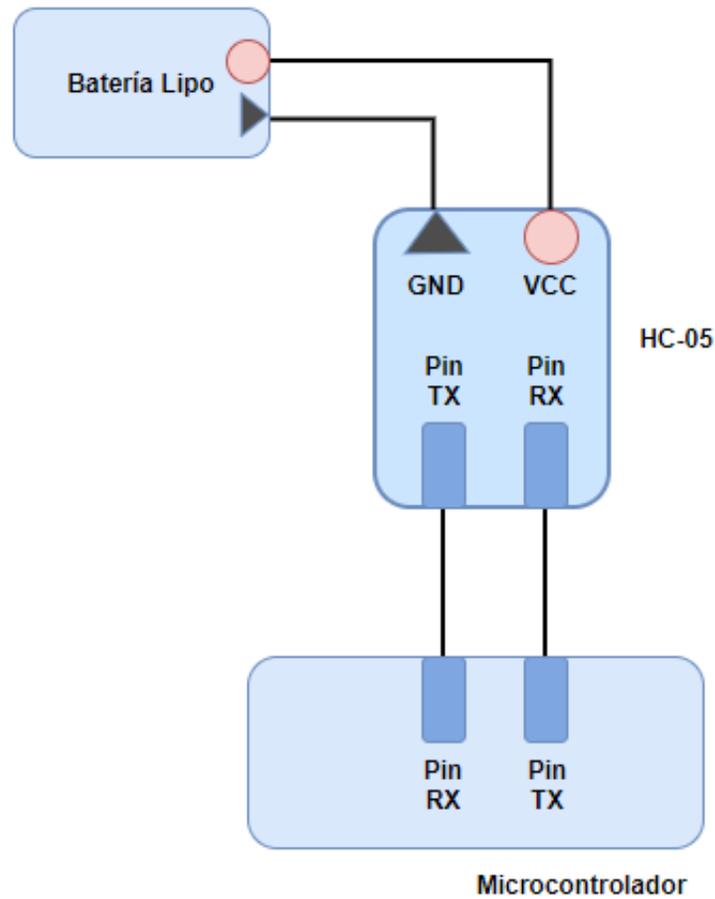


Figura 16: Módulo Bluetooth HC-05 y sus conexiones con la batería y con el microcontrolador. Si bien en la implementación final no se conecta directamente a la batería, el esquema muestra su configuración inicial a la hora de realizar las pruebas de comunicación.

Es fundamental notar que el pin RX del microcontrolador debe ir conectado al pin de TX del módulo HC-05 y viceversa. Estos dos pines son los encargados de la transmisión y recepción de datos (de allí su nombre). La comunicación se basa en un protocolo serial muy común en el mundo de la electrónica. El protocolo se implementa en los receptores asíncronos universales (UART por sus siglas en inglés) y cuando un dispositivo se comunica mediante este, su UART se transmite en el canal TX y recibe datos por el canal RX. Es por ello que el canal de un dispositivo va al pin contrario del otro dispositivo, para poder establecer la comunicación.

En cuanto a la programación, se utilizó una librería propia de arduino llamada “SoftwareSerial” con la cual mediante funciones muy simples se logra establecer la comunicación.

En cuanto al funcionamiento propio de este módulo, a fines de ahorrar energía y no tener que leer los sensores y enviar datos innecesariamente todo el tiempo, se busco optimizar el tiempo de funcionamiento. Al encender el guante, el módulo HC-05 intenta buscar un dispositivo al cual conectarse. De llevarse a cabo la conexión, el microcontrolador espera una señal de arranque o de “Start” para empezar a leer los sensores y enviar la información. En una primera etapa, esto se llevaba a cabo sólo durante el tiempo de juego, ya que era el único momento en el que el usuario iba a utilizar el guante, y de esta forma se ahorra energía mientras no se estuviera jugando. En etapas posteriores, se implementó la capacidad de que el usuario utilice el guante para desplazarse por las diferentes pantallas de la aplicación y que de comienzo al juego, con lo que se comienza a detectar movimientos al iniciar la conexión con el guante.

10.3. Alimentación

Como se mencionó en secciones anteriores, la batería a utilizar es una LiPo (3.7 V, 120 mAh, 0,44 Wh) que debe ir conectada con el módulo TP-4056 para garantizar su correcto uso y evitar situaciones problemáticas como sobre-descargas o sobre-cargas. Los pines positivos y negativos de la batería se conectan a dos pines de entrada del módulo. Del mismo salen dos pines de alimentación para el sistema. Además, cuenta con dos pines de entrada para poder cargar la batería, así como un puerto micro usb que cumple el mismo fin. Este último es el utilizado para cargar el sistema, debido a que son conectores muy comunes de encontrar y un gran número de personas está acostumbrada a utilizarlo en dispositivos como teléfonos, tablets o parlantes inalámbricos.

10.4. Carga de la batería

Una de las situaciones más riesgosas para cualquier dispositivo con batería es durante la carga de la misma. En particular para el tipo de batería utilizados en este proyecto, se deben tener las debidas precauciones y garantizar un uso correcto de las mismas. Para ello, se implementó una solución que evita que el usuario pueda utilizar el sistema durante la carga. Utilizando un relé, se puede garantizar de una forma mecánica que el sistema

nunca se va a encontrar encendido si la batería se está cargando. Así, aunque la lógica propia del microcontrolador falle, se garantiza que esta condición siempre se cumpla. Las conexiones llevadas a cabo se observan en la imagen siguiente, donde el estado normal deja pasar corriente hacia el sistema. Al conectar una fuente al módulo TP-4056, el relé se activa de manera automática, interrumpiendo el flujo de la misma.

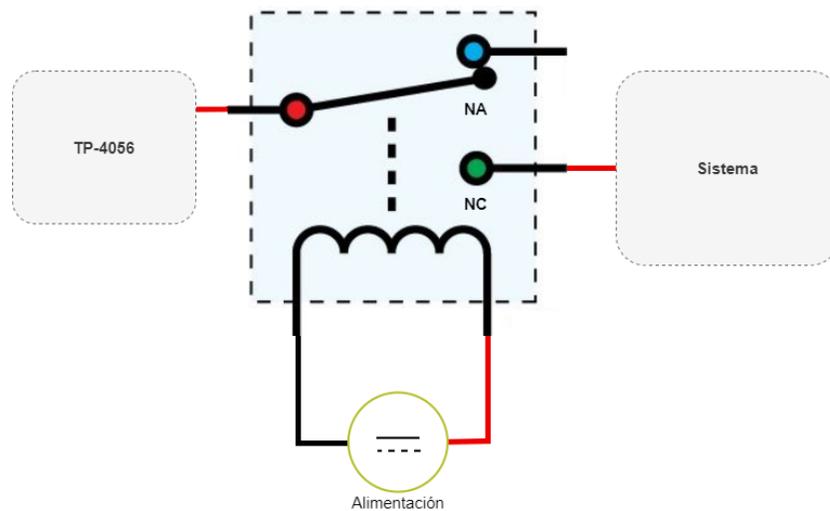


Figura 17: Sistema de protección durante la carga. Al conectarse con una fuente externa de carga, el contacto del relé se desplaza a su posición NA (Normalmente abierta) y deja de alimentar el sistema, permitiendo una carga segura de la batería. Cuando se desconecta la fuente externa, el contacto pasa a su posición NC (Normalmente cerrada) y permite que la batería alimente al sistema.

10.5. Unificación del sistema

Finalmente se juntaron todos los módulos de forma de obtener el sistema completo. Además, se agregó un switch on/off para encender o apagar el mismo y un LED azul para indicar su estado.

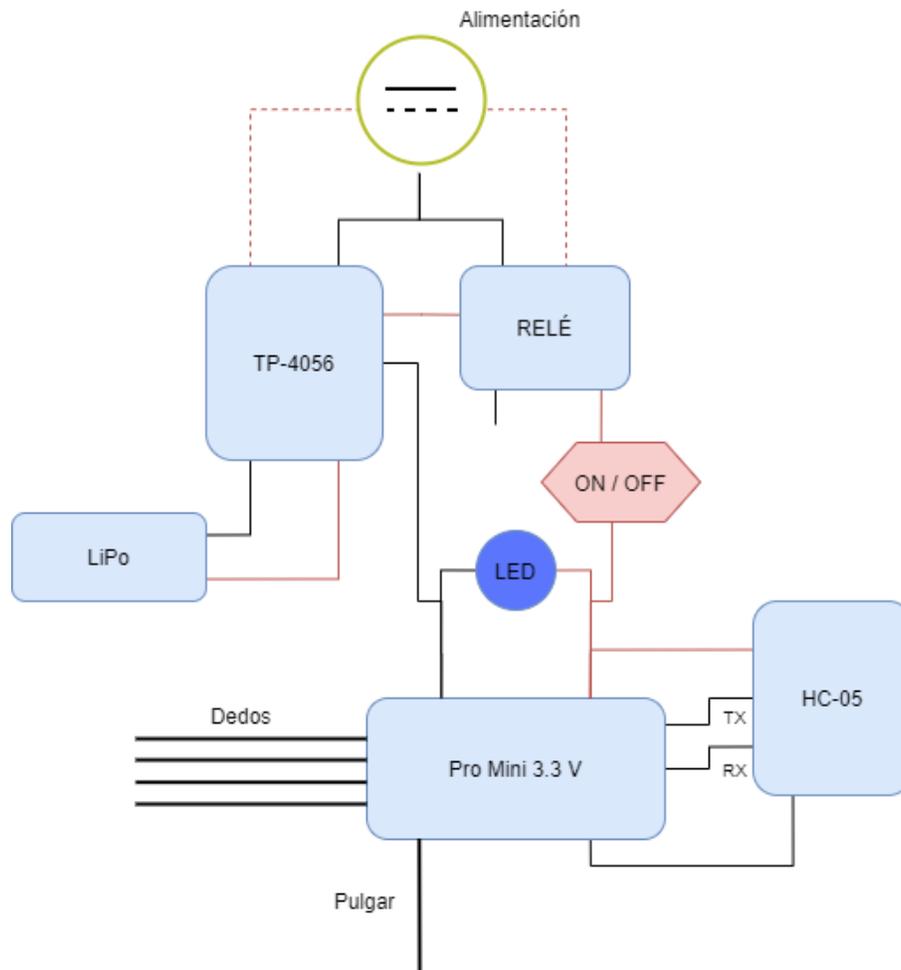


Figura 18: Implementación final del sistema. Se añadió un LED para indicar el estado encendido/apagado así como un switch ON/OFF para el encendido.

Se omite la representación de las resistencias para facilitar la comprensión del sistema, pero tanto para los sensores como para el uso del led se incluyen resistencias.

10.6. Carcasa en 3D

Para poder unir todos los módulos y componentes necesarios, se realizó un diseño en 3D de una carcasa que permite almacenar de la forma más precisa posible todos los elementos. Esto resulta primordial en el diseño para garantizar un prototipo lo más compacto y liviano posible. Se tuvo en cuenta el tamaño de cada componente así como el espacio físico que requieren las diferentes conexiones. Se incluye una tapa deslizante para poder hacer modificaciones o ver el estado del sistema. Además, un agujero para poder llevar a cabo la conexión

micro usb para la carga y dos espacios en la parte inferior para poder pasar una correa que permite fijar la carcasa a la muñeca del usuario.

A continuación se incluyen figuras de los modelos utilizados y el diseño de la carcasa que los contiene. El material utilizado fue de PLA.

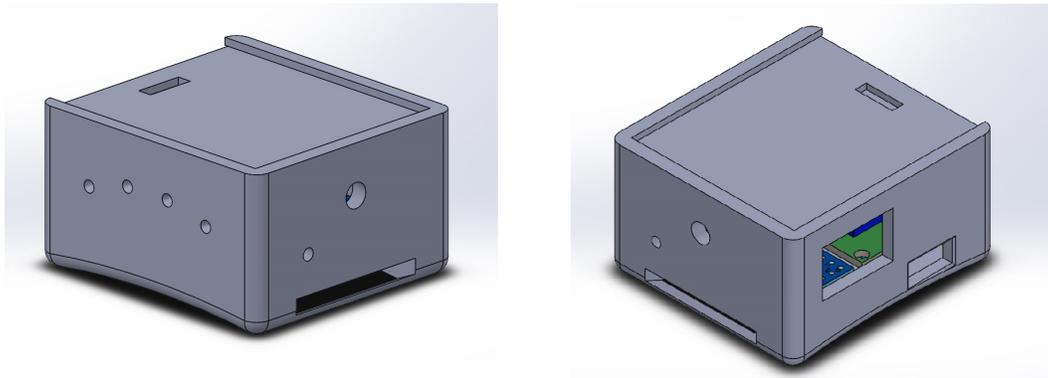


Figura 19: Vistas de la carcasa final con la tapa deslizante cerrada. En la imagen de la izquierda se observan los agujeros para los cables de los dedos. En la imagen de la derecha se observan los espacios para el botón de encendido/apagado y para el conector micro usb que permite la carga de la batería.

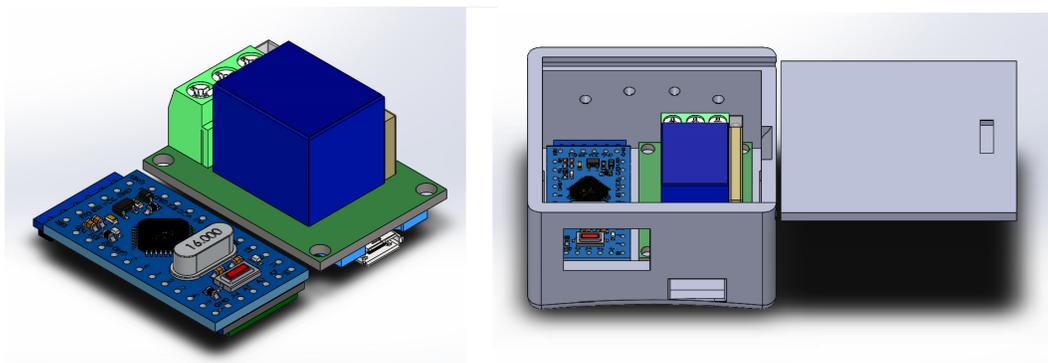


Figura 20: Modelos de los diferentes componentes utilizados y su inclusión en la carcasa final. Se observa el modelo del microcontrolador Arduino Pro Mini 3.3V y el del relé utilizado.

10.7. Implementación final

A continuación se presentan algunas imágenes de la implementación final.



Figura 21: Interfaz de control. Se incluyó el logo de MotFi y la correa para ajustar la interfaz al brazo del paciente.



Figura 22: Diferentes vistas de la interfaz colocada en el brazo y los sensores sobre los dedos.

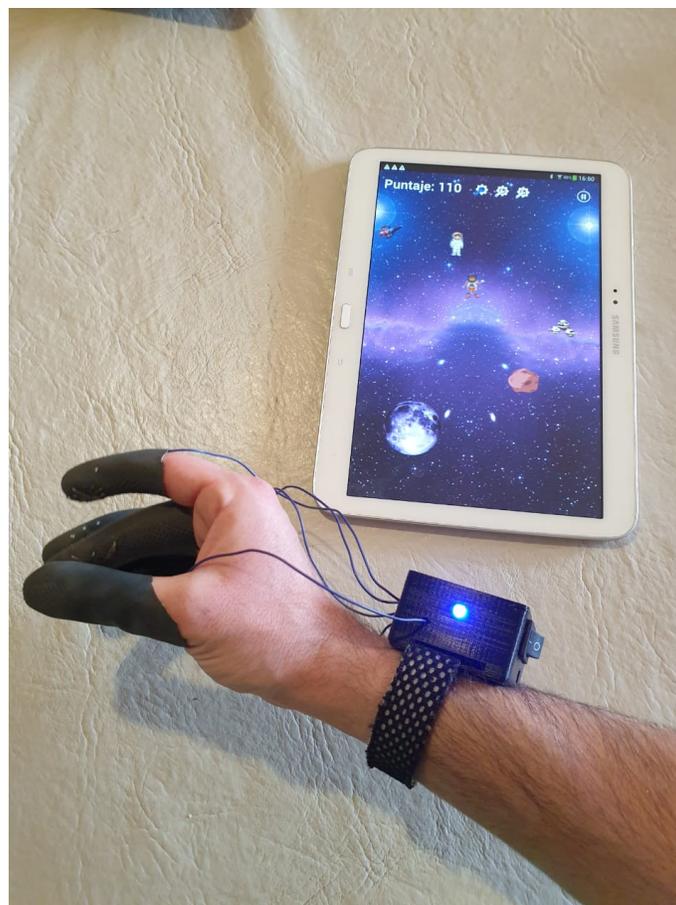


Figura 23: Fotografía tomada durante el juego del espacio utilizando una tablet Samsung Galaxy Tab 3 en lugar de un celular. Se observa la interfaz de control con el led indicando su estado de encendido.



Figura 24: Imagen de la interfaz de control junto a la aplicación en un celular Samsung S9, en el menú de pausa del juego del espacio.

11. Implementación de la aplicación

Para el desarrollo de la aplicación se investigó acerca de los lineamientos generales para buenas prácticas de programación. Esto incluye consideraciones generales como nombres de las variables, indentación, la creación de comentarios, evitar repeticiones de código, establecer criterios de evaluación del mismo y además algunas particulares del sistema Android Studio. Para esto último se aprovecharon las diferentes estructuras que provee la IDE oficial de Android como por ejemplo el uso de un componente donde se almacena todo el texto que se va a mostrar finalmente al usuario. De esta forma, es sencillo adaptar el sistema si se desea cambiar el idioma de visualización. Resulta muy útil comprender cómo y cuándo utilizar estas herramientas de programación para poder simplificar el código y facilitar el avance del proyecto.

Para lograr explicar de la forma más clara y sencilla las diferentes pantallas y funcionalidades de la aplicación, se navegará a través de la misma de la forma que lo haría por primera vez un usuario. De esta forma, se podrá entender los diferentes procesos que se llevan a cabo, así como la importancia de su orden cronológico.

11.1. Instalación y primera interacción

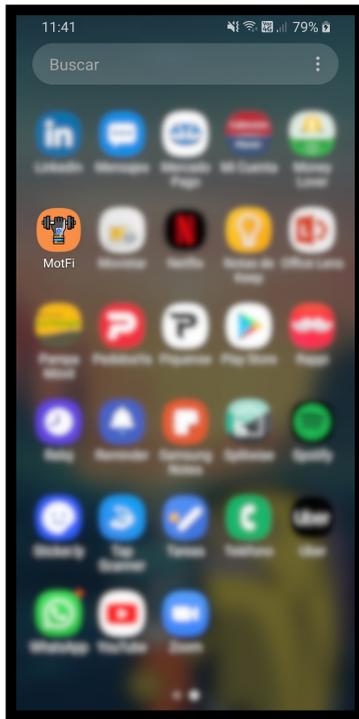


Figura 25: Icono de la aplicación



Figura 26: Splash screen

Luego de instalar la aplicación, el usuario encontrará el icono característico en su panel de aplicaciones (Fig. 25). Al hacer click en el mismo, se activará la pantalla de bienvenida o “splash” en la cual se muestra de forma inmediata el icono ocupando un mayor espacio en la pantalla (Fig. 26).

Si alguna vez se estableció la conexión con el dispositivo, en este momento se aprovecha para intentar conectar el mismo con la aplicación. Para ello se verifican dos parámetros necesarios, que el bluetooth esté encendido y que dentro de la aplicación, se haya seleccionado el modo de entrenamiento.

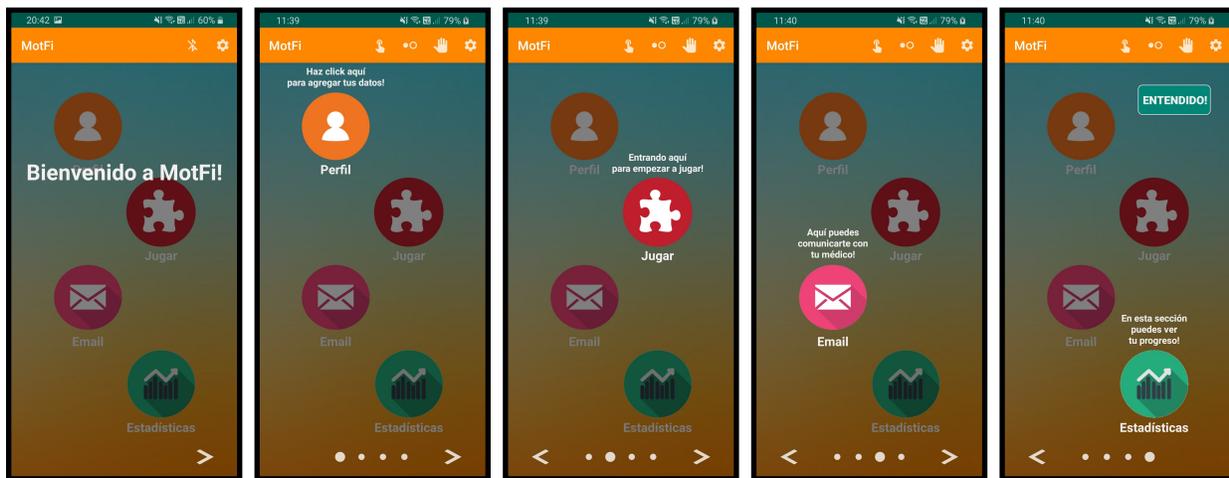


Figura 27: Pantallas del tutorial inicial.

Al ser la primera vez que se ingresa a la aplicación, se recibe al usuario con una pantalla de tutorial. Se puede acceder al mismo en cualquier momento posterior mediante el símbolo de ajustes, ubicado arriba a la derecha de la pantalla. Como se ve en Fig. 27, el tutorial consiste en cinco pantallas donde se busca explicar la función de los diferentes módulos del sistema. El objetivo de esta serie de pantallas es (además de darle la bienvenida al usuario) poder mostrarle de una forma clara y concisa las acciones que puede llevar a cabo.

Es importante notar que para la interfaz se buscó utilizar íconos y textos simples, de forma de minimizar las instrucciones que se requieran para que el usuario pueda comenzar a utilizar el sistema.

11.2. Barra de estado

A lo largo de las diferentes pantallas de la aplicación se encuentra la siguiente barra de estado:

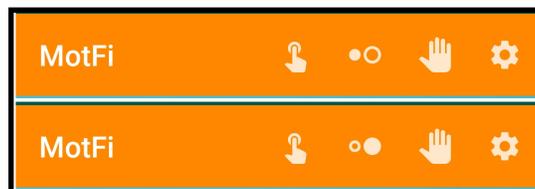


Figura 28: Modo de juego (arriba) y modo de entrenamiento (abajo)

La misma permite al usuario activar el modo de entrenamiento y además ingresar a las

distintas opciones de configuración, tal como el Bluetooth o la terapia. Desde aquí accede también a la pantalla de créditos y al tutorial en la pantalla principal.

11.3. Personalización del sistema



Figura 29: Menú principal.

Una vez terminado el tutorial, el usuario se encuentra en la pantalla de inicio, la cual de ahora en más, será la que se abrirá al iniciar la aplicación.

Desde allí, el primer paso será ir a la pantalla de “Perfil” para poder ingresar la información personal que le permita a los profesionales a cargo de la terapia reconocer al individuo. Como se ve en Fig. 30, en la misma se presenta una serie de cuadros de ingreso de texto para que el usuario agregue todos los datos que se le solicitan.

Los campos requeridos incluyen:

- Nombre
- Sexo
- Fecha de nacimiento

- DNI
- Obra Social

Además, se cuenta con un botón para eliminar toda la información almacenada del usuario. Esto se añadió por razones de seguridad, para que el usuario sepa que tiene control de sus datos en todo momento.

The image shows a mobile application interface for a profile page. At the top, there is a status bar with the time 11:37, signal strength, Wi-Fi, and battery level at 79%. Below this is an orange header with a back arrow and the text "MotFi". The main content area is white and contains several fields: "Nombre:" with the value "Pablo Rensonnet"; "Sexo:" with a dropdown menu showing "Masculino"; "Fecha de nacimiento:" with the value "4/4/2020"; "DNI:" with the value "12.345.678"; and "Obra Social:" with the value "OSDE". At the bottom of the form, there are two buttons: "GUARDAR" and "REINICIAR PARÁMETROS".

Figura 30: Pantalla de perfil.

Una vez ingresados todos sus datos, se prosigue con la configuración Bluetooth. En Fig. 31 vemos que si al ingresar a esta pantalla el Bluetooth no se encuentra encendido, se solicita al usuario su activación. Una vez activado se presenta una lista con todos los dispositivos emparejados al celular o tablet. El usuario selecciona el dispositivo de rehabilitación presionando en el nombre "MOTFI" y de esta forma queda configurada la dirección con la cual se intentará establecer la conexión Bluetooth.

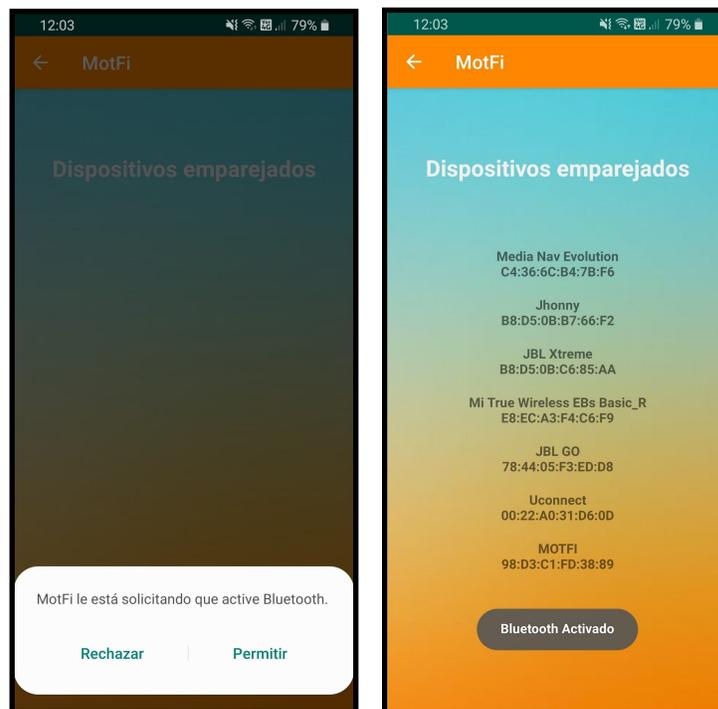


Figura 31: Pantalla de Bluetooth.

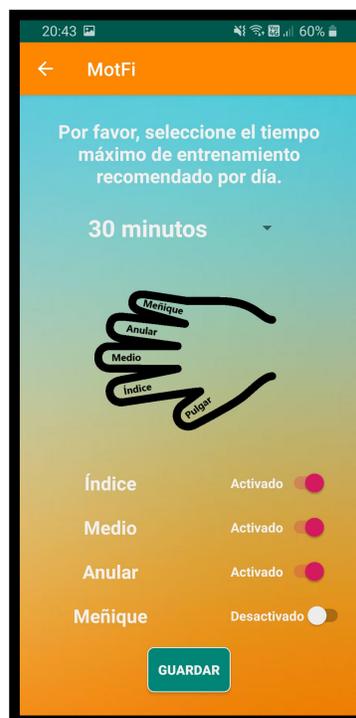


Figura 32: Pantalla de configuración de la terapia (tiempo de entrenamiento, dedos).

Antes de establecer la comunicación entre la aplicación y el dispositivo, es importante

personalizar el tiempo de entrenamiento máximo que haya establecido el médico. Además, se pueden desactivar aquellos sensores correspondientes a dedos que por alguna razón el usuario se encuentre incapacitado para utilizar. Si tomamos como ejemplo la Fig. 32, vemos que el paciente cuenta con un tiempo de entrenamiento por día de treinta minutos máximos. Además, se desactivó la medición del dedo meñique.

Esta posibilidad se implementó para que un mayor número de usuarios puedan beneficiarse del uso del sistema. Al desactivar uno de los sensores, se habilita el próximo sensor para la función correspondiente.

En Tabla 3 se puede observar dos situaciones, una en la cual un paciente se encuentra con los cuatro sensores activados y otra en la cual el segundo (el dedo medio) se encuentra desactivado. Las funciones de cada botón dependen de cada pantalla, para el ejemplo de la tabla se consideró la pantalla principal o de inicio.

Dedo	Modo	Función	Dedo	Modo	Función
Índice	Pulsar	Perfil	Índice	Pulsar	Perfil
	Mantener	Atrás		Mantener	Estadísticas
Medio	Pulsar	Jugar	Medio	Pulsar	-
	Mantener	-		Mantener	-
Anular	Pulsar	Email	Anular	Pulsar	Jugar
	Mantener	-		Mantener	Atrás
Meñique	Pulsar	Estadísticas	Meñique	Pulsar	Email
	Mantener	-		Mantener	-

Activado	
Desactivado	

Tabla 3: Tabla de botones

Vemos como al desactivar el sensor correspondiente al dedo medio, la función del mismo que antes llevaba a la pantalla de “Jugar” ahora se encuentra en el sensor del dedo anular. Respectivamente, todas las funciones se desplazan hacia el sensor siguiente.



Figura 33: Mensaje de confirmación para conectar con el guante.

Finalmente, una vez terminadas todas las configuraciones iniciales, el usuario puede activar el modo de entrenamiento y conectarse con el dispositivo mediante la pantalla que se observa en Fig. 33. Esto se llevará a cabo de forma automática la próxima vez que se abra la aplicación, siempre que se haya dejado establecido el modo de entrenamiento.

11.4. Entrenamiento

Ya conectado el dispositivo, el usuario puede comenzar con su entrenamiento. Para ello, accede a la pantalla de selección de juego (Fig. 34) y elige el juego que le resulte más atractivo o aquel que el profesional a cargo le haya especificado.

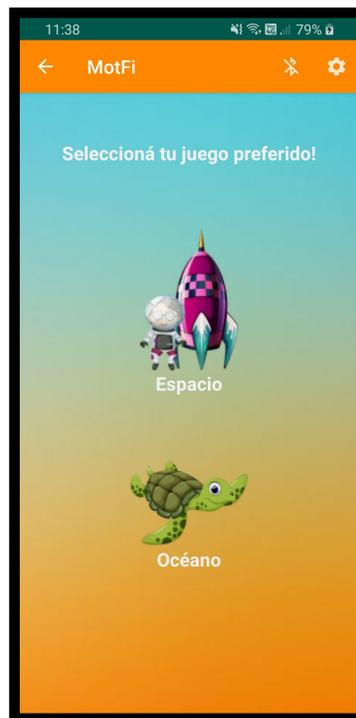


Figura 34: Pantalla de selección de juego.

En Fig. 35 se observa la pantalla de carga respectiva para cada juego. En particular para el juego del espacio, se permite seleccionar diferentes naves para la partida. Esto se añadió como un elemento más de personalización y para otorgar un componente más que evite un rápido aburrimiento por la repetición de los elementos. Dicha pantalla se ve en la Fig. 36.

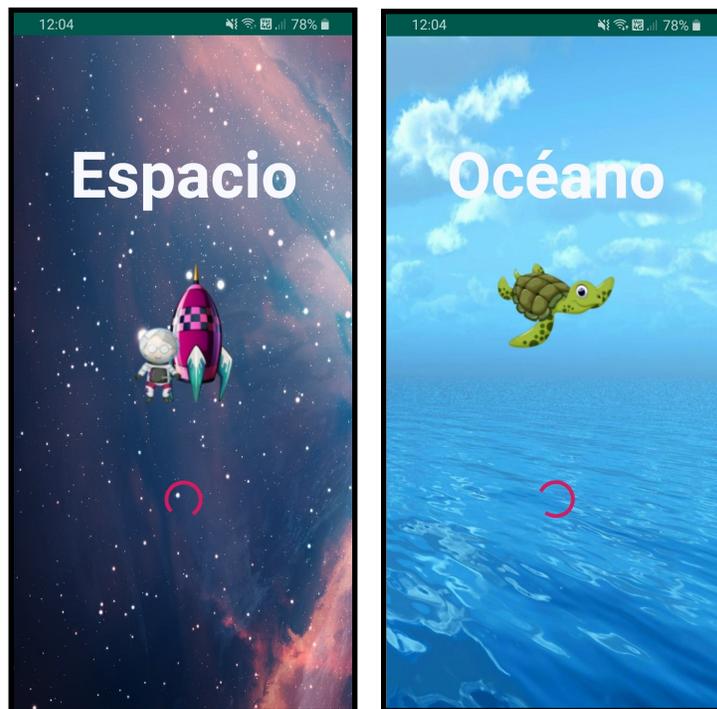


Figura 35: Pantalla de carga respectiva para cada juego.



Figura 36: Pantalla de selección de nave para el juego del espacio.

El juego comienza pausado para permitir al usuario editar el nivel de juego y encender

o apagar la música, los efectos de sonido y el modo de vibración. Todas estas configuraciones son almacenadas en memoria y se establecen al inicio del juego, de forma que no deban volver a cambiarse con cada partida.

La primera pantalla que se muestra en Fig. 37 indica las reglas generales de juego, las cuales se pueden desactivar para que no vuelvan a aparecer. A continuación, se muestra la pantalla de pausa, con los elementos previamente mencionados.

Las reglas de juego son sencillas para evitar confundir al usuario y que pueda llevar a cabo su terapia de la forma más cómoda posible. El objetivo consiste en alcanzar la mayor cantidad de puntos al hacer que el jugador (nave o tortuga) recolecte los elementos positivos (astronautas o alimentos respectivamente). Además, debe esquivar aquellos elementos que le restarán energía y harán que se termine el juego luego de tres impactos negativos.

Finalmente, es importante destacar que la pantalla de pausa muestra claramente aquellos elementos que se deben recolectar para conseguir puntos y aquellos que se deben evitar. Esto es para poder recordarle al usuario la función de los diferentes objetos que ve en pantalla de una forma rápida y clara.

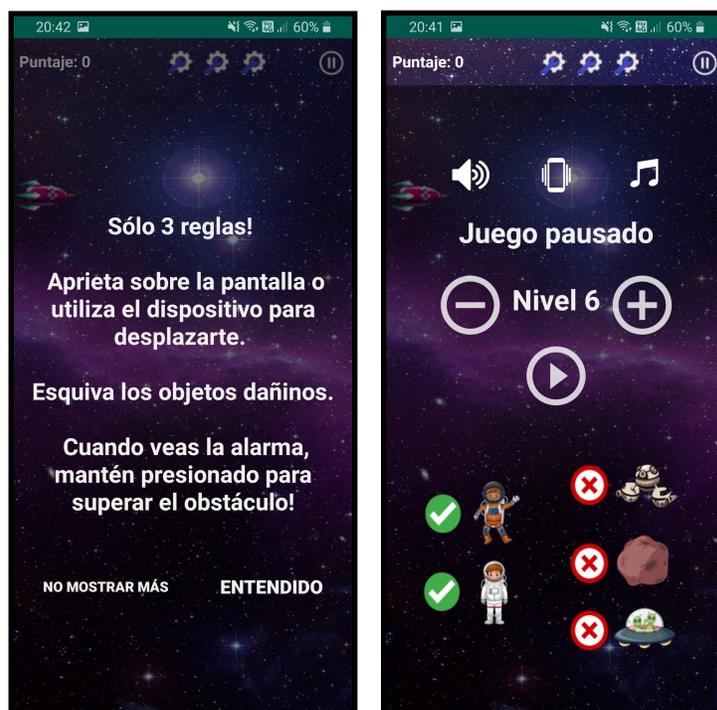


Figura 37: Pantalla de reglas generales (izquierda) y pantalla con el menú de pausa (derecha).

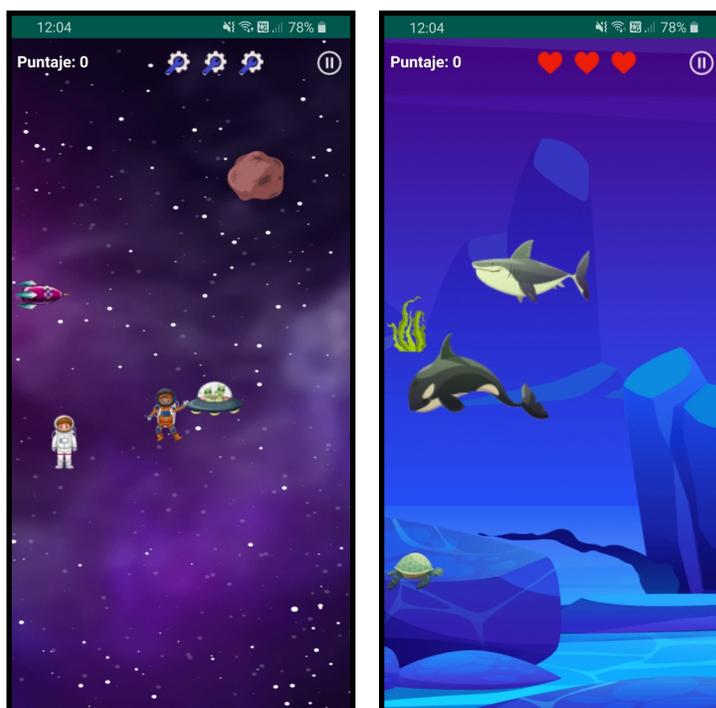


Figura 38: Pantallas generales del juego, para el espacio (izquierda) y el océano (derecha).

En Fig. 38 hay una captura de la pantalla de juego para cada uno de los juegos. En la misma se pueden apreciar los diferentes agentes que se deben esquivar o recolectar, el jugador (nave o tortuga), el fondo (el cual se desplaza para generar una sensación de movimiento) y los elementos de juego como las vidas (o energía), botón de pausa y el puntaje.

En Fig. 39 se ve un elemento especial de los juegos, los cuales consisten en grandes elementos que se deben esquivar manteniendo presionado alguno de los sensores del dispositivo. Estos elementos cumplen dos funciones fundamentales. En primer lugar, son un componente aleatorio que desafía al usuario, y lo mantiene atento a su aparición. En segundo lugar, cumplen una función en la terapia ya que buscan estimular un movimiento diferente al del resto del juego. Si bien el juego se lleva a cabo con pulsaciones de los sensores, para esquivar estos obstáculos se debe mantener presionado el sensor, con lo que se entrena la capacidad de mantener la posición de presión.

Un punto interesante de ambos juegos es que, si bien a grandes rasgos son el mismo sistema, en un caso (en el espacio) la acción del usuario hace que el jugador se desplace hacia arriba. En cambio, en el otro caso (en el océano), la acción del usuario hace que el mismo se desplace hacia abajo. Además, la distancia que cada pulsación implica para el

jugador es diferente, siendo que en el juego del océano, la tortuga se desplaza verticalmente el doble de distancia que la nave. Estas simples diferencias, tienen el objetivo de aportar un poco de distinción entre ambos juegos y además busca que el usuario se adapte a estos diferentes contextos. El mismo utilizará su capacidad cognitiva para comprender cómo una misma acción puede tener consecuencias diferentes según el medio en el que se encuentre.

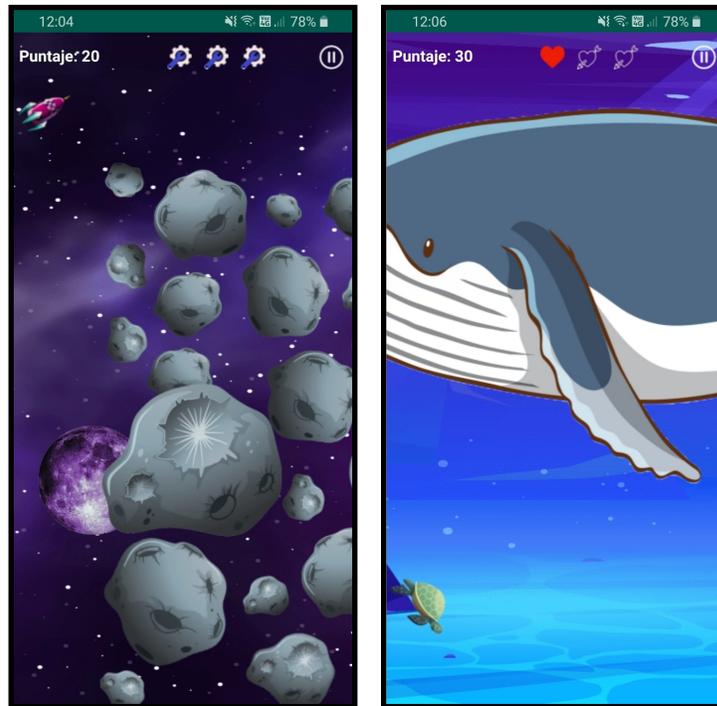


Figura 39: Objetos grandes que se deben esquivar manteniendo presionado uno de los sensores, para estimular diferentes movimientos.

Finalmente, al agotar la energía del jugador, termina la partida y se muestra la pantalla de fin. En la misma, el usuario puede optar por comenzar una nueva partida o volver al menú principal. Como se ve en Fig. 40, en esta pantalla se muestra el puntaje alcanzado por el usuario y además el puntaje máximo histórico, a modo de motivación para superarlo.

Si el usuario selecciona la opción de volver a jugar, el sistema verificará si no se superó el límite de entrenamiento diario. De ser así, se informará al usuario de esto y se le volverá a preguntar si efectivamente desea continuar jugando o prefiere volver al menú principal.

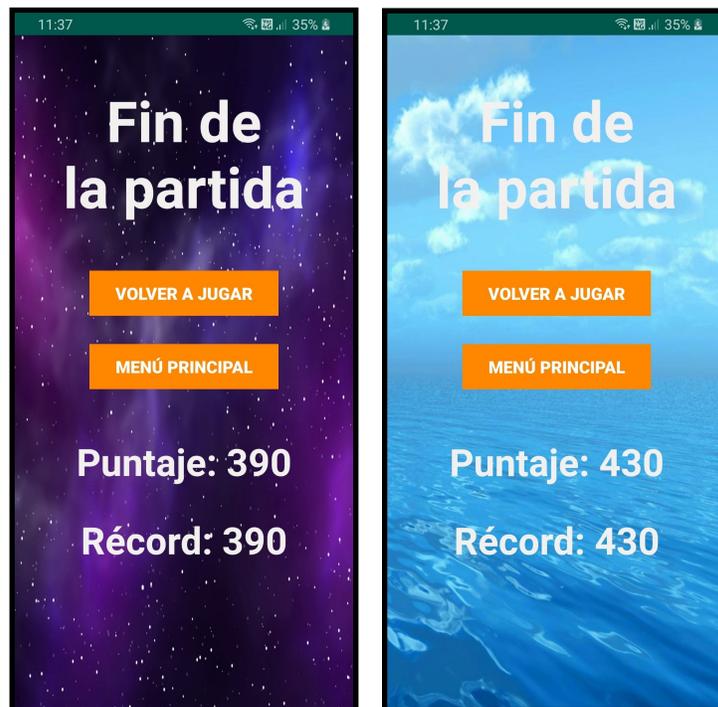


Figura 40: Pantalla de fin del juego, donde se muestra el puntaje obtenido así como el máximo histórico.

11.5. Evolución

Una vez completado el entrenamiento, el usuario tiene la opción de ver sus últimos avances, dirigiéndose a la pantalla “Estadísticas” desde el menú principal. Aquí se presentan a su vez dos pantallas, una para los juegos llevados a cabo con el dispositivo de rehabilitación y una para aquellos jugados simplemente con la pantalla del celular o tablet.



Figura 41: Estadísticas del usuario sin utilizar el guante.

En Fig. 41 se encuentra la primera de ambas, la que se lleva a cabo sin el dispositivo. Si bien esta información no es el resultado de la rehabilitación, puede ser interesante tanto para el paciente como para el profesional a cargo. Para el primero, puede ver su progreso, las horas invertidas en el juego y su puntuación para cada juego a modo de desafío. Más interesante aún resulta para el centro de salud a cargo de la terapia del paciente. Complementando esta información con aquella que sí corresponde con la rehabilitación puede obtener una mejor imagen de la evolución del paciente. Por ejemplo viendo el tiempo de juego, podría

ver si el paciente se siente cómodo con el sistema y disfruta utilizarlo, o solo lo utiliza para cumplir con las tareas que le fueron asignadas. Además, se podrían comparar los puntajes obtenidos con y sin el dispositivo a fin de obtener alguna información acerca del estado de las capacidades motrices o cognitivas del paciente.

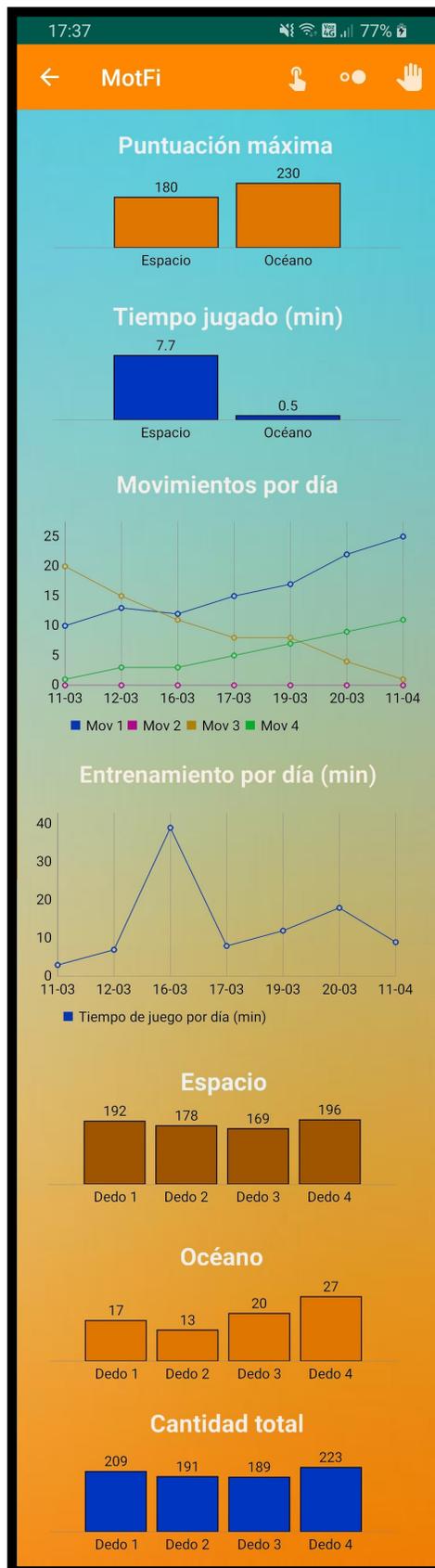


Figura 42: Estadísticas del usuario utilizando el guante.

En Fig. 42 se presentan los gráficos relacionados con la rehabilitación mediante el dispositivo. La imagen está compuesta por los gráficos que se observan al deslizar por la pantalla, ya que no podrían entrar todos juntos. Una característica extra que se añadió es la posibilidad de deslizarse por esta pantalla utilizando el dispositivo, para permitir que el paciente se pueda desplazar por la mayor parte del sistema sin tener que remover el guante.

Al igual que antes, tenemos los gráficos correspondientes a los puntajes máximos, tiempo de juego, tiempo de entrenamiento por día, cantidad de movimientos por día respectivo a cada movimiento y cantidad de movimientos para cada juego. Representar la información de esta forma permite obtener un panorama no solo de la evolución motora del paciente, sino también del estado del sistema. A modo de ejemplo, si observamos el gráfico “Movimientos por día” podemos ver que hay dos curvas crecientes, la azul (movimiento 1) y la verde (movimiento 4), lo cual indicaría que el paciente está interactuando más con la aplicación. Sin embargo, si vemos la curva amarilla (movimiento 3) vemos que está decreciendo rápidamente. Esto podría indicar una incomodidad o imposibilidad del paciente para efectuar este movimiento, lo que el profesional a cargo podría interpretar y tomar medidas al respecto. Por otro lado, la curva rosa (movimiento 2) permaneció en cero durante los días medidos. Esto podría indicar que el paciente nunca fue capaz de realizar dicho movimiento o también que hay un problema con la lectura de dicho movimiento, ya sea desde el lado de la aplicación o por el sensor. Finalmente, los gráficos de movimientos por juego permiten analizar el impacto de cada juego y que tan cómodos o atraídos hacia el mismo se sienten los pacientes. Complementando esta información con el tiempo de juego para cada uno se podría también saber que tipo de juegos estimulan más los tipos de movimientos deseados para la terapia.

11.6. Comunicación

Por último, dado que una de las características del sistema es la posibilidad de utilizarlo por fuera del centro de rehabilitación, la aplicación debe poder hacer llegar la información del estado del paciente al mismo. Para ello, desde la pantalla de “Email” (accediendo desde el menú principal) se le da al paciente la posibilidad de generar de forma automática un pdf donde se completarán de forma automática todos sus datos, a fin de enviarlo mediante una aplicación de email.

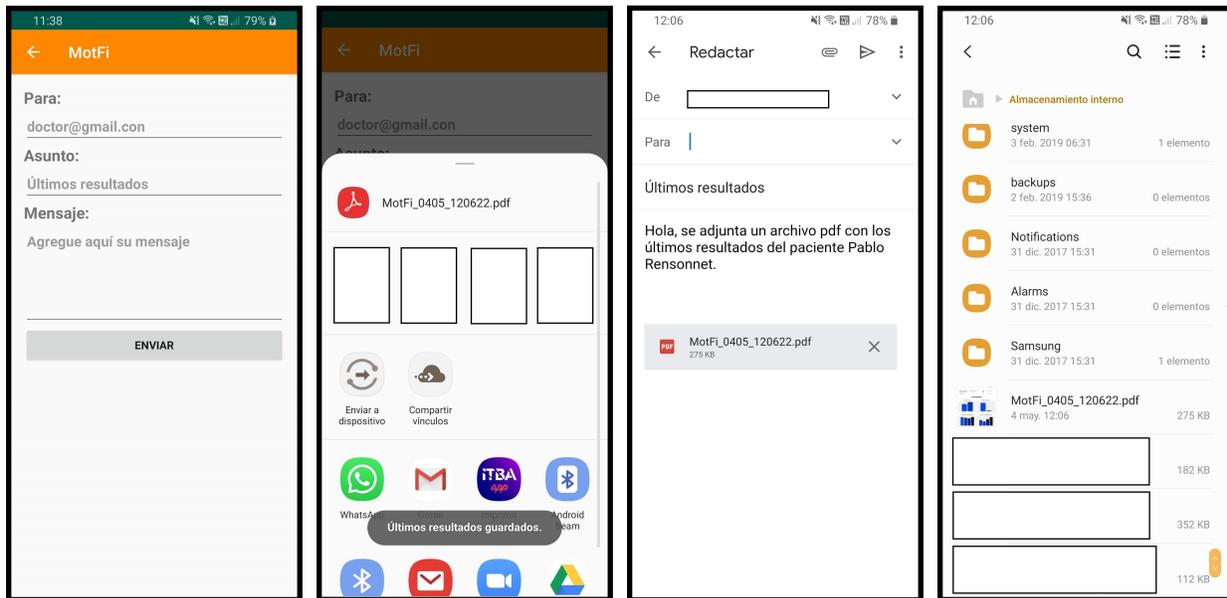


Figura 43: Secuencias de pantallas para enviar un email. Primero, la pantalla propia de la aplicación. A continuación, el sistema pide seleccionar la aplicación de email deseada. En tercer lugar, se abre la misma (en este caso gmail) y se envía el email. Finalmente, el usuario puede acceder a sus informes a través de los documentos almacenados en el dispositivo.

En Fig. 43 se resume la secuencia llevada a cabo para ello. En primer lugar, el paciente completa los datos propios de un email, esto es, la dirección del destinatario (la cual quedará almacenada para facilitar futuros envíos), el asunto del correo y un mensaje que puede dejarle al responsable a cargo. A continuación se le solicita que seleccione la aplicación mediante la cual desea enviar el mail. Para el ejemplo se seleccionó Gmail, abriéndose el mismo y mostrando un mensaje predeterminado. Finalmente, se guarda el archivo pdf en la memoria del celular o tablet donde se encuentra la aplicación, para que quede a disposición tanto del paciente como del terapeuta.

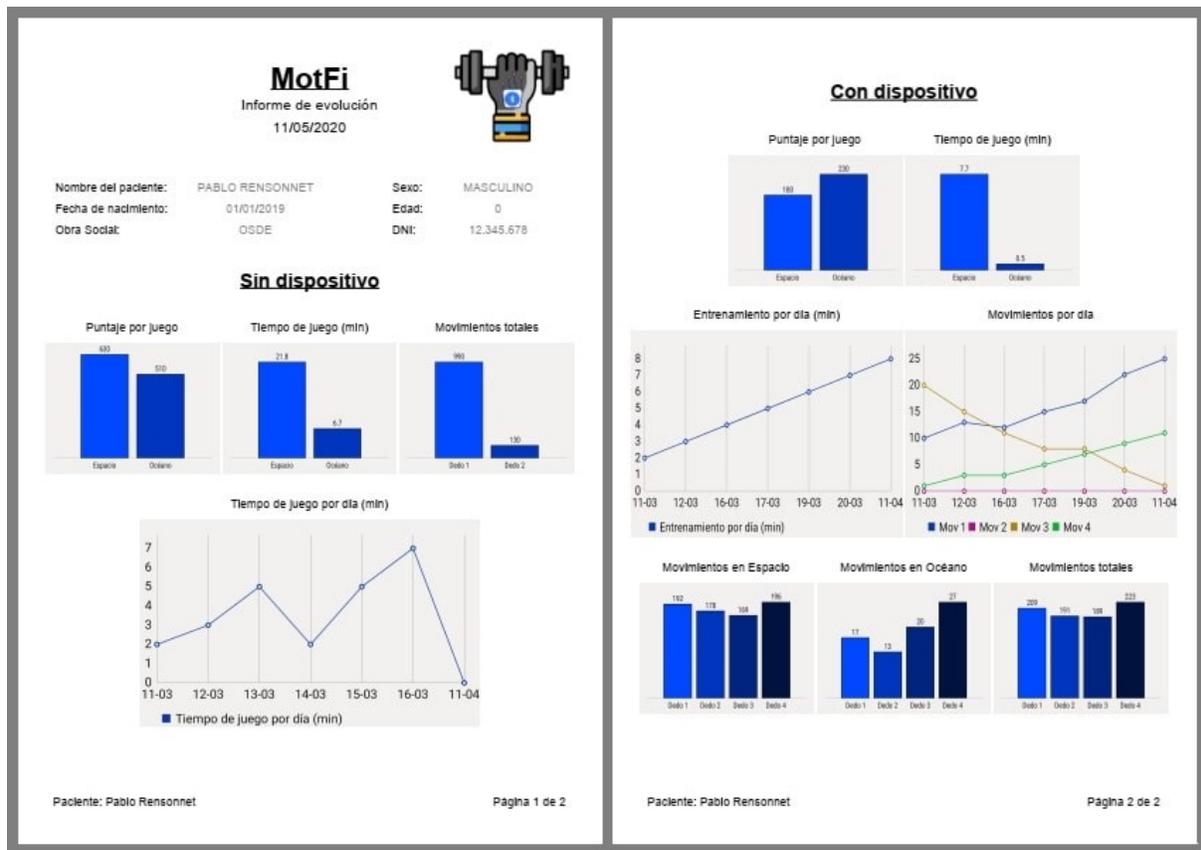


Figura 44: PDF generado de forma automática con los últimos resultados del usuario.

En Fig. 44 se muestra el pdf generado automáticamente por la aplicación para un caso de ejemplo. En primer lugar aparece el nombre del dispositivo, la fecha de generación del informe y el logo. A continuación y para fácil identificación del paciente por parte de los responsables de salud se muestran todos los datos de identificación proporcionados a la aplicación. Nuevamente, se separan los gráficos según si corresponden a la terapia con el dispositivo o al juego mediante la pantalla del celular o tablet.

11.7. Documentación del código

Como se mencionó en secciones anteriores, Android Studio cuenta con la posibilidad de generar de forma automática una documentación del código de programación. Esto tiene una gran cantidad de ventajas, ya que permite analizar de forma rápida las diferentes clases, métodos y variables del código. Además, hace más sencilla la comprensión del mismo por parte de terceros. En la siguiente figura se presenta una captura de pantalla de una sección

de la misma.

All Classes

- BluetoothActivity
- CommunicationManager
- CommunicationManager.MyHandler
- CreditsActivity
- doctorActivity
- GameActivity**
- GameOverActivity
- gameTVView
- MainActivity
- MainActivity
- PlayActivity
- PopUpActivity
- ProfileActivity
- shipActivity
- SplashActivity
- StatsActivity

Constructor Summary

Constructors

Constructor and Description

GameActivity()

Method Summary

All Methods	Instance Methods	Concrete Methods
Modifier and Type	Method and Description	
void	checkSoundSettings() Called to check saved preferences for sound, music and vibration	
void	launchGame() Launches the game depending on user's choice.	
void	lvlBtn(boolean add) Function to increase or decrease game level	
void	musicBtn() Callen when user wants to turn on/off music	
void	onBackPressed() Called when the user presses the back button on the device.	
protected void	onCreate(android.os.Bundle savedInstanceState) Automatically generated on start.	
protected void	onDestroy() Called when the activity is being destroyed.	

Figura 45: Documentación del código.

Si bien se deben escribir los comentarios necesarios para las funciones y métodos utilizados, de forma automática se generan los archivos de la documentación y se visualizan en cualquier navegador. Se puede desplazar entre ellos y rápidamente ver la función u objetivo de cada elemento, sus variables de entrada, de salida e incluso comentarios que hagan más clara la comprensión.

12. Pruebas

Si bien la etapa de pruebas con potenciales usuarios para este sistema excede completamente los límites de este trabajo, se logró probar su desempeño con tres pacientes con afecciones y situaciones diferentes. Se agradece al Instituto de Medicina Ortopedia y Traumatología de General Pico, La Pampa y a los pacientes interesados por haber brindado la posibilidad de llevar a cabo dichas pruebas.

Debido a la situación actual con la pandemia, lamentablemente las pruebas se vieron limitadas a una sola interacción con los mismos, pero de todas formas se obtuvo información relevante para las conclusiones y proyecciones del proyecto.

Paciente 1, mujer de 76 años con diagnóstico de espondilo artrosis grave. Delia presenta parestesia en ambas manos y lesión crónica en manguito rotador del hombro derecho. La espondilo artrosis puede causar, entre otros, los siguientes síntomas: Dolor en las articulaciones, rigidez y entumecimiento, falta de movilidad y deformación. El tratamiento busca frenar el avance y tratar los síntomas mediante corrección postural, ejercicios de movilidad, autocuidados (evitar estrés) y tratamiento médico. Pese a la complejidad del cuadro, Delia es una persona autónoma e independiente en sus actividades de la vida diaria, requiriendo periódicamente analgesia ante determinados cuadros puntuales.

Paciente 2, hombre de 52 años con diagnóstico de enfermedad de Parkinson con cronicidad (20 años de evolución), estadio intermedio, se manifiesta sobre todo con temblor de reposo. Al padecer un trastorno neurodegenerativo y una disminución muscular progresiva, es fundamental la rehabilitación y el acompañamiento profesional. Además, requiere un plan de rehabilitación metabólica para no descuidar su salud cardiovascular y metabólica. Carlos es un paciente con buena socialización con el grupo de trabajo (profesionales y otros pacientes) y un excelente apoyo familiar.

Paciente 3, mujer de 23 años diagnosticada con enfermedad de Huntington. Algunos de los trastornos motrices relacionados con esta enfermedad comprenden movimientos involuntarios y deterioro en los movimientos voluntarios como movimientos esporádicos o de contorsión. Además, marcha, postura y equilibrio afectados y dificultad en la producción física del habla o para tragar. Sheila se encuentra terminando su capacitación como docente, con

lo cual la habilidad de poder manejar herramientas de trabajo (especialmente informáticas como una computadora) es primordial para ella.

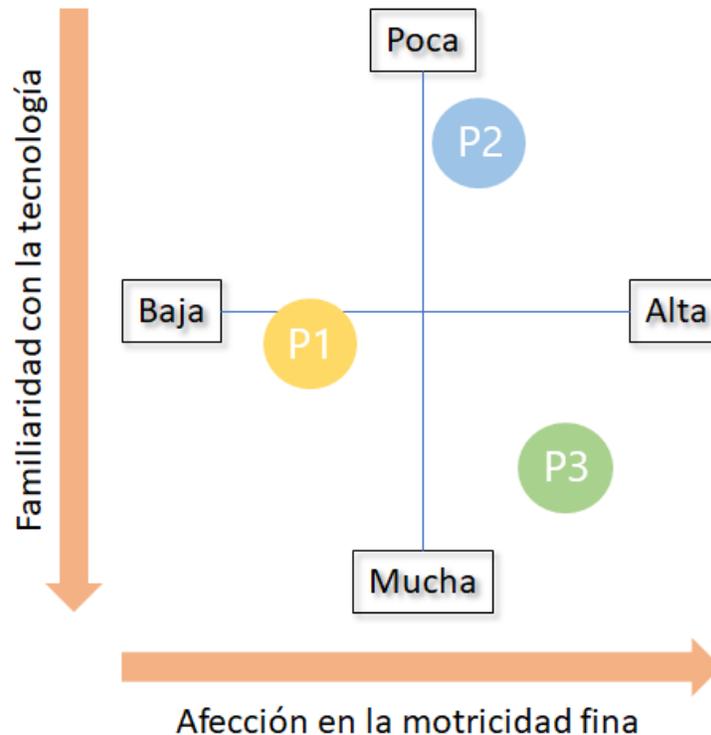


Figura 46: En el eje vertical se analiza la familiaridad del paciente con la tecnología. En el eje horizontal la afición de la motricidad fina del mismo. En los círculos se representa cada caso. Amarillo: Paciente 1, azul: Paciente 2, verde: Paciente 3.

En la figura anterior se puede ver un cuadro comparativo con dos de las características más significativas para la evaluación. La Paciente 1 está familiarizada con la tecnología y el uso del celular, además de que no presenta una dificultad significativa para llevar a cabo los movimientos necesarios. El Paciente 2 es quien menos familiarizado está con el uso del celular, en especial relacionado a los juegos en el mismo. Finalmente, la Paciente 3 tiene una gran facilidad y comprensión del uso de esta tecnología, aunque es quien mayor dificultad presenta para los movimientos del sistema.

Al trabajar con personas con trasfondos tan diferentes se ve el potencial de MotFi como herramienta de rehabilitación, ya que permite trabajar movilidad, precisión y coordinación cognitivo motora a la vez que se motiva al paciente a realizar el ejercicio.

El primer paciente con el que se trabajó fue el Paciente 2. Lo primero que se observó fue

que el guante resultaba demasiado pequeño para el tamaño de su mano, con lo que a la hora del diseño de éste, sería necesario tener en cuenta un material más elástico, o la elaboración de diferentes tamaños o talles. A continuación, se le explicó el funcionamiento general del sistema y como llevar a cabo los movimientos para jugar. Si bien es quien menos familiarizado estaba con la tecnología, comprendió muy rápidamente como interactuar con el sistema, el objetivo del juego, que elementos debía esquivar y como sumar puntos. Se observó una dificultad para llevar a cabo la acción de apretar y rápidamente soltar, el paciente tendía a mantener presionado los dedos un tiempo prolongado, característico del Parkinson. En cuanto a entretenimiento, estaba interesado por la novedad del sistema, pero se notaba que el juego en sí no le resultó particularmente “divertido”. Cuando se le preguntó, dijo que le parecía interesante la posibilidad de tener un instrumento para continuar con su terapia desde su hogar.

La Paciente 1 fue segunda e inmediatamente comprendió el sistema y lo que se buscaba trabajar con el mismo. El guante le calzó cómodamente y pudo jugar varias partidas. Le resultó sencillo su uso e incluso se probaron diferentes dificultades. Al igual que el Paciente 2, se mostró interesada por un elemento de trabajo que pudiera ser utilizado por fuera del centro de rehabilitación.

Finalmente se trabajó junto a la Paciente 3. Al contrario que en el primer caso, a ella el guante le resultaba un poco grande y se llegaban a deslizar por fuera de su mano algunos de los dedos del guante. Nuevamente se observa la necesidad de diferentes modelos o tamaños para cada situación. Debido a su patología, presentaba particular dificultad para realizar los movimientos, pero se logró llevar a cabo algunas partidas, incluso en el juego del océano. Ella fue la que mostró mayor interés por el sistema y le pareció realmente interesante la idea. Se la observó entretenida con el desarrollo del juego e incluso propuso que el mismo pudiera jugarse con contactos en los pies en lugar de las manos, ya que ella tenía un mayor control voluntario de los primeros. Este es un punto particularmente interesante para futuros desarrollos.

13. Conclusiones

Se llevó a cabo el desarrollo de una aplicación móvil y una interfaz de control para rehabilitación de la motricidad fina de la mano. Al considerar al paciente como centro del sistema desde la concepción del mismo, se obtuvo un producto con un diseño universal, flexible y accesible a un gran número de usuarios. Si bien en el presente trabajo se cubrieron las etapas necesarias para el prototipado de un producto, se logró probar el mismo con pacientes reales. Esto permitió obtener una devolución por parte de los mismos muy enriquecedora para el proyecto, ya que se mostraron realmente interesados en poder contar con un dispositivo para continuar con su rehabilitación por fuera del centro terapéutico.

Retomando los objetivos propuestos, estos se lograron cumplir satisfactoriamente. Se logró diseñar e implementar una aplicación para dispositivos Android. La misma fue testeada en dos dispositivos físicos diferentes (un celular y una tablet) y desde la concepción de la misma se mantuvo al paciente en la parte central del diseño. La aplicación es sencilla de utilizar, atractiva visualmente y permite una navegación muy intuitiva. Permite adaptar parámetros de los juegos y la navegación de acuerdo a las capacidades del paciente, como por ejemplo inhabilitando ciertos sensores o limitando el tiempo de la terapia. Otro de los objetivos involucra el almacenamiento de información del paciente, la cual se guarda de forma local en el dispositivo y puede ser eliminada por el usuario si así lo desea. Además, se programó la creación automática de reportes de evolución para que puedan ser enviados mediante email a los profesionales a cargo de la terapia. En relación a la interfaz de control, la misma tiene un acabado muy compacto, cómodo y atractivo. Es muy liviana con lo cual no resulta incómoda para utilizar durante el período que dure la terapia. La misma se conecta de forma exitosa mediante conexión Bluetooth con el dispositivo móvil y transmite las lecturas de los diferentes sensores. Finalmente, si bien el cronograma sufrió cambios a lo largo del proyecto, el tiempo de trabajo final se mantuvo dentro de los parámetros esperados.

Como futuros cambios se destaca la necesidad de diferentes talles o tamaños de la interfaz de control, o una mejor ergonomía y fijación a la mano. Además, se podrían llevar a cabo encuestas entre el potencial mercado para descubrir que tipos de juegos podrían generar el mayor impacto en el mismo. Integrar una base de datos para poder llevar a cabo el manejo

de la información y acceder a la misma sin necesidad de solicitar el informe vía email es una tarea relativamente sencilla y que le aportaría un valor significativo al desarrollo.

Al analizar la reacción de los pacientes ante la solución propuesta en el trabajo, resulta muy prometedor el interés de los mismos por el sistema. Con este tipo de desarrollos, se busca brindar nuevas herramientas de trabajo para los profesionales de la salud y contribuir a mejorar la percepción de la terapia por parte de los pacientes. A partir de este tipo de herramientas, el concepto de “Rehabilitación lúdica” podría ser cada vez más común en los centros de atención, buscando la mejora continua de las terapias actuales y motivando a los pacientes a su propio cuidado y ejercitación.

Finalmente, si bien la pandemia que afecta a todo el mundo actualmente no estaba prevista al momento de comenzar el proyecto, MotFi surge como una herramienta muy valiosa para que el paciente pueda continuar con su trabajo desde su hogar. En el contexto actual, todos los elementos que evitan la necesidad de desplazamiento y, sobre todo, la acumulación de personas en centros de salud, se han convertido en herramientas altamente solicitadas y valorizadas. Al permitirle al paciente continuar con parte de la terapia desde su hogar, se podría disminuir el impacto negativo del aislamiento y la interrupción de la rehabilitación.

Referencias

- [1] ALANKUS G, LAZAR A, MAY M, KELLEHER C, «Towards customizable games for stroke rehabilitation», *CHI 2010: Therapy and Rehabilitation*, 2010.
- [2] BAYRAK A, WUNSCHÉ B, READING S, LUTTEROTH C, «Games as systems for rehabilitation: a design strategy for game-based exercise rehabilitation for Parkinson's disease», *Proceedings of the 53rd Hawaii International Conference on System Sciences*, 2020.
- [3] BONNECHERE B, JANSEN B, OMELINA L, VAN SINT JAN S, «The use of commercial video games in rehabilitation: a systematic review.», *International Journal of Rehabilitation Research*, 2016; 39:277-290.
- [4] BROKAW E, BLACK I, HOLLEY R, LUM P, «Hand spring operated movement enhancer (HandSOME): A portable, passive hand exoskeleton for stroke rehabilitation», *IEEE Transactions on neural systems and rehabilitation engineering*, 2011; Vol. 19, NO. 4.
- [5] BÜTEFISCH C, HUMMELSHEIM H, DENZLER P, MAURITZ KH, «Repetitive training of isolated movements improves the outcome of motor rehabilitation of the centrally paretic hand.», *J Neurol Sci*, 1995;130:59–68.
- [6] COMELIA C, STEBBINS G, BROWN-TOMS N, GOETZ C, «Physical therapy and Parkinson's disease a controlled clinical trial», *Neurology*, 1994.
- [7] CHEN I, CHENG P, CHEN C, CHEN S, CHUNG C, YEH T, «Effects of balance training on hemiplegic stroke patients», *Chang Gung Med J*, 2002; 25:583-90.
- [8] CHU C, PATTERSON R, «Soft robotic devices for hand rehabilitation and assistance: a narrative review.», *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*, 2018; 15:9.
- [9] FEIGIN VL ET AL., «Global, regional, and national burden of neurological disorders, 1990–2016: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2016», *The Lancet Neurology*, 2019.

- [10] FLORES E, TOBON G, CAVALLARO E, CAVALLARO F, PERRY J, KELLER T, «Improving patient motivation in game development for motor deficit rehabilitation», *Proceedings of the 2008 International Conference on Advances in Computer Entertainment Technology*, 2008.
- [11] FREEMAN J, LANGDON DW, HOBART JC, THOMPSON AJ, «The impact of inpatient rehabilitation on progressive multiple sclerosis», *Ann Neurol*, 1997.
- [12] JACK K, MCLEAN SM, MOFFETT JK, GARDINER E, «Barriers to treatment adherence in physiotherapy outpatient clinics: a systematic review.», *Man Ther*, 2010; 15:220-228.
- [13] JANNINK MJ, VAN DER WILDEN GJ, NAVIS DW, VISSER G, GUSSINKLO J, LJZERMAN M, «A low-cost video game applied for training of upper extremity function in children with cerebral palsy: a pilot study.», *Cyberpsychol Behav*, 2008; 11:27-32.
- [14] JEANNE C, GORDON A, «Development of hand–arm bimanual intensive training (HABIT) for improving bimanual coordination in children with hemiplegic cerebral palsy», *Dev Med Child Neurol*, 2006.
- [15] KECI A, TANI K, XHEMA J, «Role of Rehabilitation in Neural Plasticity», *Open Access Maced J Med Sci.*, 2019; 7(9): 1540–1547.
- [16] KNAUSS S, STELZL D, EMMRICH JV, KORSNES MS, SEJVAR JJ, WINKLER AS, «An emphasis on neurology in low and middle-income countries», *The Lancet Neurology*, 2019; 18(12),1078-1079.
- [17] PALLAVICINI F, FERRARI A, MANTOVANI F, «Video Games for Well-Being: A Systematic Review on the Application of Computer Games for Cognitive and Emotional Training in the Adult Population», *Front Psychol.*, 2018; 9: 2127.
- [18] PORTO FHG, FOX A, TUSCH E, SOROND F, MOHAMMED A, DAFFNER K, «In vivo evidence for neuroplasticity in older adults», *Brain Research Bulletin*, 2015; Volume 114, 56-61.

- [19] SHAUGHNESSY M, RESNICK BM, MACKO RF, «Testing a model of post-stroke exercise behavior.», *Rehabilitation Nursing: The official journal of the Assoc. of Rehabil. Nurses*, 2006; 15-21.
- [20] TIMMERMANS A, SEELEN H, WILLMANN R, KINGMA H, «Technology-assisted training of arm-hand skills in stroke: concepts on reacquisition of motor control and therapist guidelines for rehabilitation technology design», *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*, 2009.
- [21] <https://www.amazon.com/Music-Glove-Rehabilitation-Therapy-Traumatic/dp/B00QSKQ0A0?th=1>. Accedido 17 oct 2019.
- [22] Centers for Disease Control and Protection. Atlanta. 2015. https://ftp.cdc.gov/pub/Health_Statistics/NCHS/NHIS/SHS/2015_SHS_Table_A-10.pdf. Accedido 22 sep 2019.
- [23] <https://ourworldindata.org/life-expectancy>. Accedido 09 mar 2020.
- [24] <https://www.saebo.com/request-a-quote/clinic-pricing/?submissionGuid=0e281874-6c6d-42a2-8596-8706d3d55df3>. Accedido 17 oct 2019.