

Jornadas de Automática

Mini-Bird: un “juego serio” de estimulación física empleando el robot social Mini

Sara Carrasco-Martínez , Jesús García-Martínez , Sofía Álvarez-Arias , José C Castillo , Fernando Alonso-Martín , Álvaro Castro-González 

Departamento de Ingeniería de Sistemas y Automática, Universidad Carlos III de Madrid. Avenida de la Universidad, 30, 28911 Leganés, España.

To cite this article: Carrasco-Martínez, S., García-Martínez, J., Álvarez-Arias, S., Castillo, J.C., Alonso-Martín, F., Castro-González, A. 2024. Mini-Bird: A Serious Game for Physical Stimulation Using Mini Social Robot. *Jornadas de Automática*, 45. <https://doi.org/10.17979/ja-cea.2024.45.10829>

Resumen

Los robots sociales tienen el potencial de ayudar a personas con problemas de movilidad y coordinación, especialmente si son mayores. Para ello, se pueden apoyar en ejercicios de estimulación física mediante la gamificación de juegos diseñados para este propósito. En este trabajo, presentamos “Mini-Bird”, un juego de estimulación implementado siguiendo un paradigma de robot multiagente. El sistema propuesto se ha integrado en la arquitectura de software del robot Mini acompañado de un agente de juegos. El robot social Mini guía la actividad para promover la actividad física del usuario. El agente de juegos es el encargado de rastrear los movimientos de las manos del usuario mediante un detector de esqueletos que permite controlar el juego. Se facilita varias métricas para la evaluación de la estimulación física y la coordinación ojo-mano. La incorporación de elementos de gamificación mejora la participación del usuario y el desarrollo de habilidades. Las pruebas preliminares muestran un gran potencial para promover la actividad física entre los mayores.

Palabras clave: Robótica social, Interacción humano-robot, Gamificación, Sistema multiagente, Juegos serios.

Mini-Bird: A Serious Game for Physical Stimulation Using Mini Social Robot.

Abstract

Social robots have the potential to help people with mobility and coordination issues, especially if they are elderly. For this purpose, they can be supported by physical stimulation exercises through the gamification of games designed for this purpose. This paper presents “Mini-Bird”, a stimulation game implemented following a multi-agent robot paradigm. The proposed system has been integrated into the software architecture of the Mini robot, which is accompanied by a game agent. The Mini social robot guides the activity to promote the user’s physical activity. The game agent is responsible for tracking the user’s hand movements using a skeleton detector to control the game. It facilitates some metrics for the evaluation of physical stimulation and eye-hand coordination. The incorporation of gamification elements enhances user engagement and skill development. Preliminary tests show great potential for promoting physical activity among the elderly.

Keywords: Social Robots, Human-robot interaction, Gamification, Multiagent system, Serious game.

*Autor para correspondencia: sacarras@ing.uc3m.es
Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International (CC BY-NC-SA 4.0)

Correos electrónicos: sacarras@ing.uc3m.es (Sara Carrasco-Martínez ) , jesusgar@ing.uc3m.es (Jesús García-Martínez ) , sofalvar@pa.uc3m.es (Sofía Álvarez-Arias ) , jocastil@ing.uc3m.es (José C Castillo ) , famartin@ing.uc3m.es (Fernando Alonso-Martín ) , aconzal@ing.uc3m.es (Álvaro Castro-González )

1. Introducción

En los últimos años, las nuevas tecnologías han proporcionado alternativas complementarias a las terapias físicas convencionales atractivas y placenteras para los usuarios. En particular, los robots sociales han demostrado ser efectivos para mejorar la adherencia a las terapias gracias a sus mecanismos de interacción, capaces de mantener a los usuarios interesados en realizar las actividades propuestas (Winkle et al., 2018; Paternina Pacheco and Montes Rotela, 2023). Por ejemplo, Fuertes Muñoz and Gallardo Casero (2020) presentan una herramienta compuesta de pequeños juegos sencillos para fomentar la rehabilitación del tren superior en pacientes con parálisis. Los juegos usados para fines diferentes del entretenimiento, como la terapia médica se conocen como juegos serios, o *serious games*, en inglés. Feingold Polak and Tzedek (2020) proponen un sistema de rehabilitación a largo plazo con gamificación usando el robot social Pepper. Los autores encontraron que este tipo de terapia generaba una gran aceptación en los pacientes aunque era necesario adaptar algunos parámetros del robot al usuario.

Estudios recientes han explorado la utilización de juegos clásicos en robots sociales para la terapia de pacientes con diversas discapacidades motoras. En Steiner et al. (2020) se presenta una revisión de las tecnologías que incluyen juegos para motivar la rehabilitación de pacientes con problemas de movilidad en el tren superior. Los autores destacan la falta de juegos con diseños que trabajen la zona a mejorar en todas las fases de la rehabilitación y la falta de personalización en función del usuario. Por su parte, Ali et al. (2021) proponen un estudio comparativo en 120 pacientes con problemas de movilidad en el tren superior, dicho estudio compara los resultados obtenidos con rehabilitación convencional con los resultados obtenidos mediante rehabilitación con gamificación. Tras analizar los resultados encuentran que los sistemas gamificados resultan más útiles al motivar a los pacientes a realizar los movimientos de manera más intensa y repetitiva en el tiempo, a la par que les entretiene el desarrollo del juego. En esta línea, Alfieri et al. (2022) presentan una revisión de la literatura en la que encuentran resultados que demuestran el uso efectivo de la gamificación para mejorar las terapias médicas del tren superior y la adherencia de los pacientes a esas terapias.

Existen múltiples estudios que emplean sistemas multiagente para ayudar a las personas mayores. Fasola and Martarić (2013) aplican en su artículo un sistema compuesto por un robot y una simulación para motivar a los usuarios a realizar diferentes ejercicios físicos. Por otro lado, Martínez et al. (2021) presentan un sistema multiagente para ayudar a personas de avanzada edad en sus hogares. Ayudando en tareas como la administración de medicamentos, y monitorizar elementos del entorno que puedan dañar al usuario, como la detección de fugas de gas.

En este trabajo, proponemos el uso de una versión del conocido juego “*Flappy Bird*”¹ como un juego serio para la estimulación física en usuarios mayores, implementado en un sistema multiagente de robots. En nuestro trabajo abordamos por un lado el uso de un robot social como plataforma prin-

cipal, encargada de motivar e incentivar al usuario durante la actividad física, y por otro lado, el uso de un agente de juegos (AJ) encargado de ejecutar las actividades y registrar las estadísticas de cada usuario. El objetivo de nuestra propuesta es extraer métricas que permitan seguir la progresión del usuario a largo plazo.

Flappy Bird es un juego sencillo pero desafiante que requiere que el jugador guíe una representación de un pájaro a través de una serie de tuberías sin chocar con ellas. El objetivo es evitar que el pájaro colisione. En nuestra aportación, el usuario mueve el pájaro utilizando la mano, lo que demanda una alta coordinación ojo-mano y reflejos. En nuestra implementación, hemos sustituido el controlador clásico por un módulo de visión por computador que rastrea las manos de los usuarios, facilitando una actividad física más dinámica y una evaluación precisa de la coordinación ojo-mano. El sistema multiagente se compone de dos elementos: un AJ encargado de la detección y el juego, y Mini, un robot social que asiste e interactúa con los usuarios.

El documento se organiza de la siguiente manera: la sección 2 describe las plataformas utilizadas para llevar a cabo este trabajo. La lógica de juego y la implementación realizada se recoge en la sección 3. Finalmente, se recogen las principales conclusiones de este trabajo en la sección 4.

2. Plataformas utilizadas

Para el desarrollo e implementación de este trabajo, se utiliza un sistema de robots multiagente que consta de dos elementos (ver figura 1): el robot social Mini y un AJ. Mini se encarga de gestionar la configuración del juego, introducida por el usuario durante la interacción, y de almacenar las métricas de la partida, proporcionadas por el AJ para su posterior análisis. Además Mini motiva al usuario a continuar con la interacción y por tanto con la actividad física. El AJ se encarga de ejecutar la aplicación, lanzar los detectores y recabar la información del usuario. El objetivo principal de recabar esta información es ayudar a los terapeutas sobre la evolución de las terapias de los usuarios.

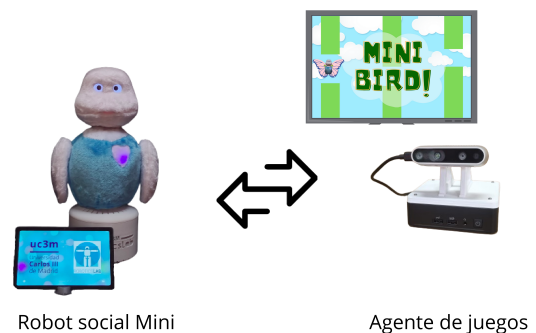


Figura 1: Robot social Mini (izquierda) y Agente de juegos (AJ) con el monitor (derecha).

¹https://es.wikipedia.org/wiki/Flappy_Bird

2.1. Robot social Mini

El robot social Mini (Salichs et al., 2020) es una plataforma robótica de sobremesa cuyo propósito inicial es la estimulación cognitiva en personas mayores. Actualmente, dispone de diferentes aplicaciones aptas para todo tipo de usuarios incluyendo entretenimiento, estimulación física y cognitiva. Aunque la forma de interacción más habitual es cercana, cara a cara, con el usuario sentado situado frente al robot. En este trabajo la interacción se produce con el usuario más alejado y de pie. El uso del sistema multiagente para estimular físicamente al usuario requiere realizar movimientos amplios con los brazos y por tanto del espacio suficiente para moverse con libertad.

En lo referido a su diseño, Mini es un robot desarrollado en su totalidad en un entorno de investigación. El robot consta de varios sensores (micrófono, sensores de tacto y una cámara 3D), diferentes actuadores (motores, LEDs, altavoces y pantallas LED para los ojos) y de una tableta interactiva. Mini es capaz de comunicarse con el usuario mediante comunicación verbal y a través de su tableta interactiva de forma no verbal.

En cuanto al software, la arquitectura de Mini está desarrollada en ROS Quigley et al. (2009) y se divide en siete módulos principales: La información del entorno y del usuario se recoge mediante los *Detectores*, encargados de recopilar información de diferentes canales: visual, táctil y auditivo. Dicha información es agrupada en el *Sistema de Percepción* y enviada al *Sistema de Toma de Decisiones*, encargado de seleccionar la actividad que debe realizar el robot en cada momento durante la interacción con el usuario. Las actividades que Mini puede realizar se encuentran agrupadas en el módulo de *Habilidades*. Para gestionar la interacción con el usuario, el *Sistema de Interacción humano-robot* se encarga de procesar los comandos de voz de Mini, de mostrar contenido por la tableta y de gestionar la información proporcionada por el usuario. Durante la interacción el robot muestra vivacidad realizando diferentes gestos en función del contexto de la interacción. Este control se lleva a cabo por el *Gestor de Expresividad*, que se encarga de controlar el módulo de *Actuación*, que finalmente controla los motores e iluminación del robot.

En el desarrollo de este trabajo se enmarca en el módulo de las Habilidades, integrando una nueva aplicación, denominada “Mini-Bird” que estimula físicamente a los usuarios.

2.2. El «Agente de Juegos»

El AJ está concebido como una plataforma auxiliar del robot Mini, por lo que su arquitectura software es menos compleja que la del robot, ya que su propósito es el de ejecutar y reproducir aplicaciones que necesitan de visión por computador como medio para interactuar con el usuario. La arquitectura software consta de dos módulos: el módulo de *Detectores* y el módulo de *Aplicaciones*. En función de la aplicación con la que vaya a interactuar el usuario, el robot Mini activará el detector correspondiente. Este dispositivo cuenta con un ordenador embebido, una cámara RGB-D, además de una pantalla que permita la visualización del juego para el usuario.

Con este dispositivo, Mini dispone de un nuevo método de interacción con el usuario. El escenario de interacción consta

del robot social Mini, del agente del juego y una pantalla para reproducir los juegos propuestos al usuario. Por lo tanto, se consigue que la interacción sea a distancia para que, en función de la actividad el usuario pueda moverse con facilidad.

Al igual que Mini el AJ corre su arquitectura en ROS, sin embargo la comunicación no se realiza mediante las funcionalidades nativas de este *middleware*, dado que comparten toda la información de ambos dispositivos y puede generar retrasos en las comunicaciones. Por tanto, el sistema de comunicación entre ambos dispositivos se lleva a cabo utilizando *sockets*, que permiten enviar solo la información deseada en tiempo real.

3. Implementación del juego

En esta sección se describe el diseño del juego, se detalla el módulo de detección que usa el AJ para poder interactuar con el usuario, se describe el desarrollo del juego, y finalmente las métricas extraídas para monitorizar la actividad física del usuario. El escenario de interacción que planteamos, incluye al robot social Mini, el AJ conectado a un dispositivo de reproducción como una pantalla o televisor y al usuario frente a este último como muestra la figura 2.



Figura 2: Escenario de interacción humano-robot. Se muestra al robot social Mini encima de una mesa junto a su tableta auxiliar, y al AJ conectado a un televisor.

3.1. Diseño de la interfaz del juego

En nuestra aplicación, el jugador controla una imagen de nuestro robot Mini que simula el pájaro en el juego original². El jugador debe evitar chocarse con las diferentes tuberías que aparecen de manera aleatoria en el juego. Al comienzo de este, el robot Mini envía los parámetros de configuración al AJ, que se encargará de renderizar el juego en tiempo real. Esta configuración contiene parámetros como el ancho de las tuberías, el hueco entre las tuberías por el que tiene que pasar el robot-pájaro, y el tiempo que tarda en generarse nuevas tuberías. Esta variabilidad de configuraciones nos permite añadir dificultad a medida que el usuario adquiere habilidad.

El objetivo del jugador es que el robot-pájaro atraviese los huecos entre las diferentes tuberías sin chocar con ellas. El

²A lo largo del artículo nos referimos a la imagen de Mini que se utiliza en el juego como robot-pájaro.

robot-pájaro se mueve verticalmente en respuesta a los movimientos de la mano del jugador. El usuario gana puntos cada vez que pasa a través del hueco entre tuberías sin chocar. El nivel de dificultad aumenta a medida que el usuario consigue atravesar varias tuberías sin chocarse. En el caso de que el usuario consiga puntos múltiples de 5, el nivel del juego aumenta modificando la configuración de la creación aleatoria de las tuberías.

3.2. Detección del esqueleto del usuario utilizando el Agente de juegos

Para detectar el esqueleto del usuario, el AJ utiliza el modelo PoseNet (Kendall et al., 2015), se trata de un modelo de inteligencia artificial de visión por computador preentrenado que localiza en una imagen los 17 puntos característicos que componen el esqueleto humano como muestra la figura 3. Es un modelo que permite la inferencia en tiempo real, lo que es fundamental en nuestra propuesta y permite la detección del esqueleto de varios usuarios de manera simultánea. En nuestra aplicación, filtramos los puntos de interés que se corresponden con las muñecas izquierda y derecha del usuario y consideramos los datos del usuario más cercano al AJ, que será el que se considere como jugador. A partir de los puntos característicos de las muñecas del usuario almacenamos la coordenada X,Y correspondiente en la imagen. Esta información se utiliza en la actividad para controlar el movimiento del robot-pájaro, posicionándolo de acuerdo con las posiciones de las muñecas del usuario.

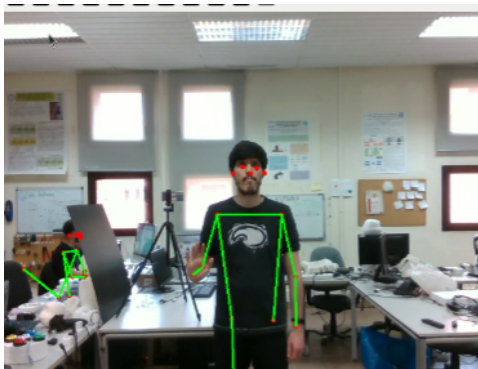


Figura 3: Detección de los puntos característicos que forman el esqueleto del usuario.

3.3. Desarrollo del juego

La secuencia del juego se divide en cuatro fases: inicio, configuración, juego y conclusión. La figura 4 recoge una serie de viñetas ilustrativas que representan el desarrollo del juego completo.

En la fase de inicio, Mini comienza la interacción dando la bienvenida al juego. A continuación, le pregunta al usuario si desea revisar las reglas, solicitando confirmación oral o táctil por la tableta (figura 4a). Si el usuario no sabe como jugar, Mini explica las reglas en voz alta. En caso contrario, comienza la fase de configuración (figura 4b). En primer lugar, Mini pregunta al usuario con qué mano quiere jugar. En segundo lugar calibra los rangos de movimiento máximos y mínimos que

el usuario puede realizar con la mano elegida. Durante esta fase, Mini envía una señal al AJ para activar la calibración de la mano escogida, la cámara y el detector del esqueleto (encargado de detectar la mano del usuario). Por último, Mini instruye al usuario para que realice la calibración de la posición de la mano seleccionada. La calibración se realiza en dos fases: (1) el robot pide al usuario que levante la mano lo más alto que pueda para registrar la posición. (2) Le pide que baje la mano para obtener el límite inferior. En ambos casos, Mini se comunica con el AJ para que comience la calibración y el agente le contesta con el rango de la posición que ha registrado. Con los datos de la calibración, se interpola los datos guardados de la calibración con los valores máximos y mínimos del movimiento del robot-pájaro que se mueve en la pantalla. Asimismo, esta información se comparte con el robot social Mini para llevar un seguimiento de los límites del usuario.

En la fase de juego, el AJ gestiona el progreso de la partida y lo muestra en la pantalla. Mini se encarga de controlar cuando el juego comienza, la configuración de los niveles y las rondas de juego. Del mismo modo, Mini envía una señal al AJ cada vez que el usuario sube de nivel para configurar los nuevos parámetros de la partida.

El AJ envía información en tiempo real sobre las estadísticas del juego a Mini. Esta información incluye las posiciones del robot-pájaro en la imagen, los contactos con tuberías y la puntuación actual. Con esta información, Mini anima al usuario a lo largo del juego y anuncia la puntuación conseguida. Cada vez que la puntuación es múltiplo de cinco, el juego se pausa para que Mini pueda felicitar al usuario y modificar la dificultad del juego (figura 4c). En el caso de que el usuario se choque con una tubería, el juego finaliza (figura 4d).

En la fase de conclusión, Mini informa al usuario sobre su desempeño y le pregunta al usuario si quiere jugar de nuevo. Dependiendo de la elección del usuario, Mini ajusta la configuración del juego en consecuencia, ya sea reiniciando para jugar otra partida o deteniendo la aplicación y el detector del esqueleto. Un ejemplo de la interacción completa donde se ve el funcionamiento del sistema multiagente y la aplicación ha sido recogido en vídeo³.

3.4. Métricas para monitorizar la actividad física

Al finalizar cada partida, Mini guarda diferentes métricas con la información recabada para poder hacer un seguimiento individual de cada usuario y poder analizar sus estadísticas y los efectos sobre la actividad física.

- **Tiempo jugado:** se registra la duración total de cada partida. Un tiempo de juego más prolongado sugiere un mayor nivel de interés y resistencia del usuario. Además, podemos medir la capacidad de atención y la coordinación ojo-mano, así como la capacidad de mantener el brazo levantado durante periodos más largos.
- **Frecuencia de movimiento de las manos:** se mide cuántas veces y con qué frecuencia el usuario mueve las manos durante el juego. Una mayor frecuencia de movimiento indica un alto nivel de actividad física, lo que es crucial para mantener la movilidad y la fuerza en

³Vídeo completo de la interacción: <https://youtu.be/QTdeGyf4uZc>

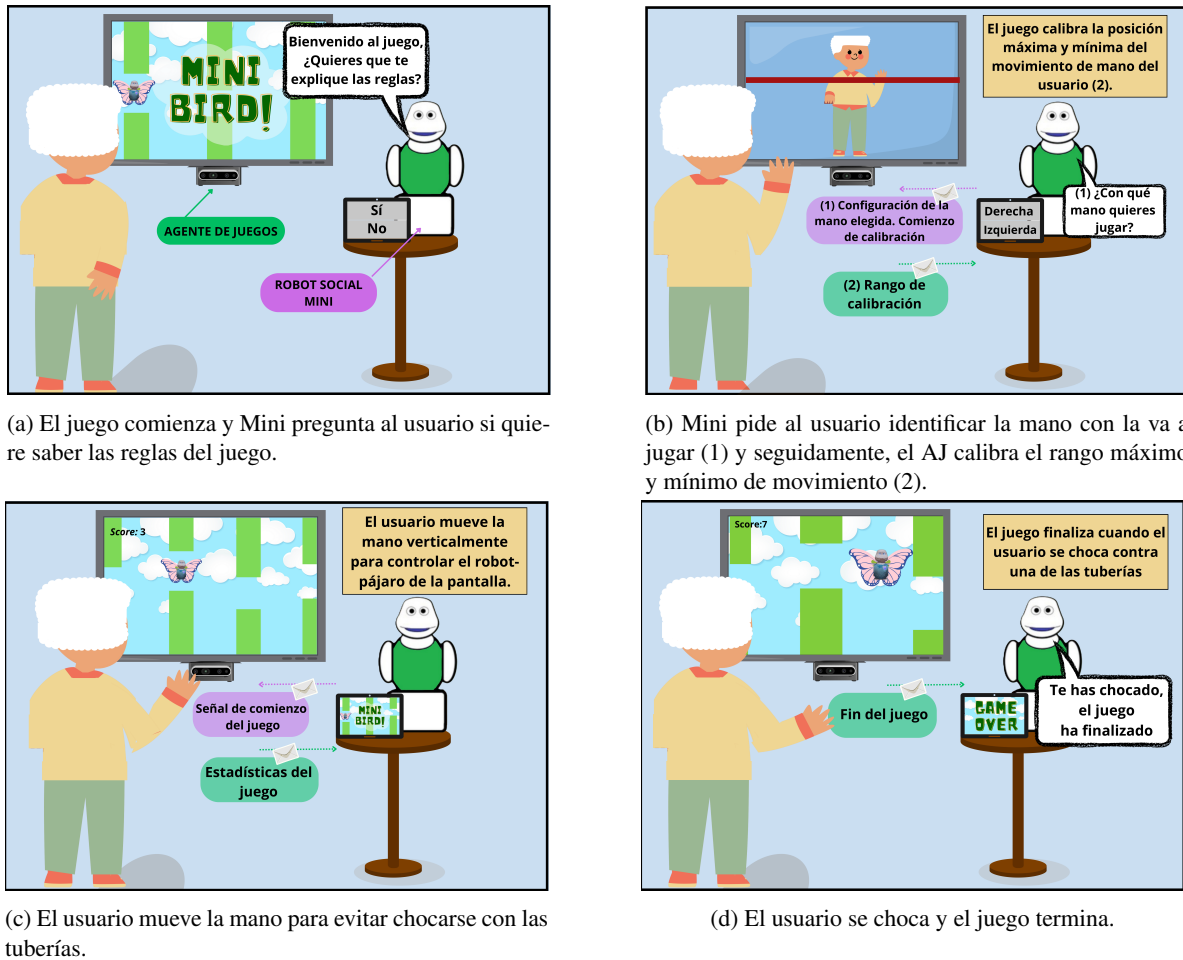


Figura 4: Mini, el AJ y el usuario durante una partida al MiniBird. La comunicación entre Mini y el AJ se representa de color morado. Mientras que la comunicación entre el AJ y Mini se representa con la flecha de color verde.

las extremidades superiores. Esta métrica también puede reflejar la rapidez de los reflejos y la agilidad del usuario.

- Rangos máximos y mínimos durante la calibración:** estos valores registran los límites superior e inferior del movimiento de las manos durante la fase de calibración. Los rangos más amplios sugieren una mejor flexibilidad y amplitud de movimiento, lo cual es esencial para la salud articular y muscular. Esta métrica ayuda a personalizar el juego para que se adapte a las capacidades físicas del usuario.
- Puntuaciones registradas en el juego:** la puntuación alcanzada por el usuario durante el juego es un indicador directo de su desempeño y habilidad. Las puntuaciones más altas reflejan una mejora en la coordinación ojo-mano, en la capacidad de toma de decisiones y en la habilidad de mantener la atención y precisión bajo presión.
- Mano con la que el usuario ha decidido jugar:** esta métrica permite identificar si hay alguna preferencia o asimetría en el uso de las manos. Analizar qué mano se utiliza predominantemente puede ofrecer información sobre la dominancia motora del usuario y detectar posi-

bles debilidades en una de las manos. Esta información puede ser utilizada para diseñar intervenciones específicas que equilibren la fuerza y la destreza entre ambas manos.

- Configuración del juego (niveles de dificultad):** incluye parámetros como la velocidad a la que se desplazan las tuberías, el ancho de las tuberías y la distancia entre ellas. Estos niveles de dificultad influyen directamente en otras métricas como la puntuación y la frecuencia de movimiento de las manos. Una configuración más desafiante puede aumentar la frecuencia de movimientos y reducir el tiempo de juego, mientras que una configuración más fácil puede permitir tiempos de juego más prolongados y puntuaciones más altas. Esta métrica es fundamental para ajustar el nivel de dificultad del juego según las capacidades y el progreso del usuario.

4. Conclusiones

En este trabajo hemos presentado una variante del juego Flappy Bird como un juego serio para la realización de actividad física en adultos mayores, implementando un sistema de robots multiagente. La integración de un módulo de visión por computador que rastrea la posición de las muñecas del usuario proporciona una alternativa al controlador original de este

juego y permite realizar ejercicios que promuevan la actividad de las extremidades superiores, enfocándose en la mejora de la coordinación ojo-mano y la destreza con los brazos.

Nuestro enfoque permite modificar los niveles de dificultad y la configuración del juego en función de la progresión individual de cada usuario. Recopilamos métricas de la partida como el tiempo de juego, la frecuencia de movimiento de las manos, los rangos de movimiento del brazo y las puntuaciones para realizar un seguimiento del progreso del usuario.

El uso del robot social Mini permite por un lado motivar al usuario a participar en el juego y por otro lado permite a los usuarios realizar actividad física desde la comodidad de su hogar, lo que resulta particularmente beneficioso para aquellos que de otra manera tendrían que desplazarse a centros especializados. Estos centros a menudo están lejos de casa y las visitas pueden ser infrecuentes. Mini ofrece una solución innovadora y complementaria a las terapias profesionales, proporcionando un acceso más regular y conveniente a la rehabilitación física, lo que puede contribuir significativamente a la mejora continua de la salud y el bienestar de los usuarios.

En resumen, nuestra investigación contribuye a la estimulación física mediante la combinación de robótica social, juegos serios y gamificación pudiendo crear intervenciones atractivas y efectivas para promover la actividad física en la población anciana. En estudios futuros queremos realizar pruebas con usuarios para evaluar el seguimiento del progreso de los mismos y cualificar nuestra propuesta.

Agradecimientos

Estos resultados han sido financiados por los proyectos PID2021-123941OA-I00, financiado por MCI-N/AEI/10.13039/501100011033 y por ERDF A way of making Europe; TED2021-132079B-I00 financiado por MCIN/AEI/10.13039/501100011033 y por la Unión Europea NextGenerationEU/PRTR; Mejora del nivel de madurez tecnológica del robot Mini (MeNiR) financiado por MCIN/AEI/10.13039/501100011033. 13039/501100011033 y por la Unión Europea NextGenerationEU/PRTR; Ro-

bot social portable con alto grado de vinculación (Po-SoRo) PID2022-140345OB-I00 financiado por MCI-N/AEI/10.13039/501100011033 y ERDF A way of making Europe.

Referencias

- Alfieri, F. M., da Silva Dias, C., de Oliveira, N. C., Battistella, L. R., 2022. Gamification in musculoskeletal rehabilitation. *Current Reviews in Musculoskeletal Medicine* 15 (6), 629–636.
- Ali, A. S., Arumugam, A., et al., 2021. Effectiveness of an intensive, functional, gamified rehabilitation program in improving upper limb motor function in people with stroke: A protocol of the entertain randomized clinical trial. *Contemporary Clinical Trials* 105, 106381.
- Fasola, J., Matarić, M. J., 2013. A socially assistive robot exercise coach for the elderly. *Journal of Human-Robot Interaction* 2 (2), 3–32.
- Feingold Polak, R., Tzedek, S. L., 2020. Social robot for rehabilitation: expert clinicians and post-stroke patients' evaluation following a long-term intervention. In: *Proceedings of the 2020 ACM/IEEE international conference on human-robot interaction*. pp. 151–160.
- Fuertes Muñoz, G., Gallardo Casero, J., 2020. Descripción y evaluación de una herramienta de rehabilitación para los miembros superiores con gamificación y realidad aumentada. *Tech. rep.*
- Kendall, A., Grimes, M., Cipolla, R., 2015. Posenet: A convolutional network for real-time 6-dof camera relocation. In: *Proceedings of the IEEE international conference on computer vision*. pp. 2938–2946.
- Martínez, M. I. R., Ramírez, C. L., Rodríguez, V. M. Z., Hernández, D. A. G., Soberanes, H. J. P., Domínguez, A. R., 2021. Fuzzy-regulated assistant based on mental engagement: A multi-agent approach to elderly care. In: *2021 17th International Conference on Intelligent Environments (IE)*. IEEE, pp. 1–8.
- Paternina Pacheco, S. M., Montes Rotela, M., 2023. Uso de tecnologías interactivas en la práctica fonoaudiológica para el lenguaje infantil.
- Quigley, M., Conley, K., Gerkey, B., Faust, J., Foote, T., Leibs, J., Wheeler, R., Ng, A. Y., et al., 2009. Ros: an open-source robot operating system. In: *ICRA workshop on open source software*. Vol. 3. Kobe, Japan, p. 5.
- Salichs, M. A., Castro-González, Á., Salichs, E., Fernández-Rodicio, E., Maroto-Gómez, M., Gamboa-Montero, J. J., Marques-Villarroya, S., Castillo, J. C., Alonso-Martín, F., Malfaz, M., dec 2020. Mini: A New Social Robot for the Elderly. *International Journal of Social Robotics* 12 (6), 1231–1249.
- Steiner, B., Elgert, L., Saalfeld, B., Wolf, K.-H., et al., 2020. Gamification in rehabilitation of patients with musculoskeletal diseases of the shoulder: scoping review. *JMIR serious games* 8 (3), e19914.
- Winkle, K., Caleb-Solly, P., Turton, A., Bremner, P., 2018. Social robots for engagement in rehabilitative therapies: Design implications from a study with therapists. In: *Proceedings of the 2018 acm/ieee international conference on human-robot interaction*. pp. 289–297.