









Personalized Digital Instructor Based on Arduino for Buerger Exercises in Older Adults with Diabetes: Feasibility Study

Ernesto Ríos-Willars , Brandon Emmanuel Delabra-Salinas , María Magdalena Delabra-Salinas , Daniel Sifuentes-Leura , Nereyda Hernández-Nava , Alejandro Martínez-Ramírez , Rosa Eréndira Fosado-Quiroz , and Bertha Cecilia Salazar-González 

Abstract— Diabetes in older adults can lead to complications such as peripheral artery disease, neuropathy, and foot ulcers. Accessing treatments can be challenging due to limited resources. Implementing low-cost preventive therapies like Buerger's exercises is essential. However, these exercises must be standardized. The purpose was to develop an Arduino-based electronic system as a gerontechnological tool for homologating Buerger's exercises and facilitating their execution by older adults with diabetes mellitus. The Intervention Theory by Sidani guided the development of this study. A feasibility and pilot study with one group, pretest/posttest design, was conducted in twenty older adults with HbA1c $\leq 8\%$ and their caregivers in Saltillo, Coahuila, Mexico, from November 2020 to June 2021. Feasibility was measured with an acceptability and satisfaction instrument; the ankle-arm index was measured with 8 Hertz Doppler and neuropathy symptoms with a modified Toronto Clinical Neuropathy Score. The mean age was 67.50 ± 5.61 years old in older adults and 48.32 ± 16.26 in caregivers. The digital instructor was accepted by 73.3% (11 older adults) without any issues; 47.4% (9 older adults) and 26.3% (6 caregivers) expressed high levels of satisfaction. Participants noted significant benefits such as improved peripheral circulation, reduced pain, numbness, and tingling. These promising results underscore the potential of the electronic system to make a noticeable improvement in the lives of older adults with diabetes mellitus and their caregivers. The device was meticulously designed to be user-friendly and accessible, making it ideal gerontechnological tool to manage health at home.

Link to graphical and video abstracts, and to code: <https://latam.ieceer9.org/index.php/transactions/article/view/8967>

The associate editor coordinating the review of this manuscript and approving it for publication was Samuel Ortega (*Corresponding author: Alejandro Martínez Ramírez*).

Agradecemos al Programa para el Desarrollo Profesional Docente (PRODEP) el apoyo a través del programa de becas para estudios de posgrado.

Agradecimientos a: las autoridades y personal de Secretaría de Salud del Estado de Coahuila y a los Consultorios Comunitarios de la Facultad de Medicina de la Universidad Autónoma de Coahuila.

Proyecto COAH-2020-C14-C087 financiado por el "Fondo Destinado a Promover el Desarrollo de la Ciencia y la Tecnología en el Estado de Coahuila (FONCYT)" del Consejo Estatal de Ciencia y Tecnología del Estado de Coahuila (COECYT).

E. Ríos-Willars, B. E. Delabra-Salinas, M. M. Delabra-Salinas, y D. Sifuentes-Leura están con la Universidad Autónoma de Coahuila, Saltillo, México (e-mails: riose@uadec.edu.mx, brandondelabra303@gmail.com, magdalena-delabra-salinas@uadec.edu.mx, y daniel.sifuentes@uadec.edu.mx).

N. Hernández-Nava, A. Martínez-Ramírez, y R. E. Fosado-Quiroz están con la Universidad Autónoma de San Luis Potosí, San Luis Potosí, México (e-mails: nereyda.hernandez@uaslp.mx, alejandro.martinez@uaslp.mx, y rosa.fosado@uaslp.mx).

B. C. Salazar-González está con la Universidad Autónoma de Nuevo León, Monterrey, México (e-mail: bertha.salazargn@uanl.edu.mx).

Index Terms— Arduino, Buerger exercises, Digital instructor, Gerontechnology, Older adult

I. INTRODUCCIÓN

EL riesgo de pie diabético aumenta con la edad la presencia de enfermedad arterial periférica (EAP) y/o neuropatía diabética (ND) [1]. Los adultos mayores (AM) con diabetes (DM), de escasos recursos económicos y con riesgo de pie diabético (PD), tienen escaso acceso a los sistemas de salud [2]. El probable deterioro cognitivo de los AM, la carga en el cuidado que pudieran tener los cuidadores, aunado a los factores directos de riesgo de PD puede incrementar la probabilidad de riesgo de esta complicación en el AM con DM. El distanciamiento social debido a la pandemia por COVID-19, perturbó las rutinas de atención de la salud y la realización de cuidados para la disminución del riesgo de PD, sobre todo en AM.

Los ejercicios de Buerger han mostrado efectividad en la mejora de la circulación periférica en personas con EAP y/o ND. Los ejercicios de Buerger constan de tres posiciones: elevación de miembros inferiores "E", pies colgando en posición sentada "S" y en reposo/acostado "R", mientras se realiza dorsiflexión y flexión plantar. Cada posición se ejecuta en un tiempo de 1 a 3 minutos [3][4][5][6][7]. Las tres posiciones forman un ciclo. Cada ciclo se realiza tres veces, formando un conjunto de ciclos. Este conjunto de ciclos se ejecuta varias veces al día. Las posiciones "E", "S" y "R" permiten aprovechar la fuerza gravitacional que se ejerce entre el sistema vascular y la musculatura lisa de los vasos [3][4][5][6]. De tal manera que, al practicarse con disciplina y constancia, mejoran la circulación sanguínea de los miembros inferiores, y por lo tanto, mejoran la oxigenación celular, que se puede manifestar en la mejora de los síntomas tempranos de ND, como son: dolor, hormigueos, calambres y entumecimiento [8], así mismo, la mejora en los resultados de EAP [3][9].

Sin embargo, la ejecución de estos ejercicios puede ser monótona y no homologarse, provocando el olvidar hacer los ejercicios, diferir en el tiempo de ejecución, en la posición de los pies o en el número de ciclos, sin contar la falta de seguimiento debido a casos de aislamiento, como por ejemplo la experiencia vivida durante la pandemia por COVID-19, o por el encierro debido a las bajas temperaturas durante el invierno.

Para la homologación en la ejecución de los ejercicios de Buerger algunos investigadores propusieron la creación de un

equipo o aditamento [3], por lo que se decidió desarrollar una herramienta como estrategia de intervención gerontecnológica personalizada, con la integración de un equipo multidisciplinario [10]. La gerontecnología tiene diferentes usos, entre ellos: el mejorar a través del fortalecimiento de habilidades y destrezas las funciones disminuidas en los adultos mayores por la pérdida o deterioro físico o cognitivo; otro es la prevención de complicaciones del adulto mayor y otro de ellos es el apoyo a los cuidadores, para permitirles conservar su estilo de vida y atender sus necesidades personales.

Para integrar el uso de la tecnología en AM y sus cuidadores, ésta debe ser de fácil uso [11].

El uso de la gerontecnología puede ayudar a mejorar las condiciones de salud y autoestima de los AM, la seguridad de cuidado en su domicilio, la facilidad en la movilidad [11], además de llamar la atención de los participantes [12]. Los sistemas asistenciales y de biomonitorio son costosos, y en zonas rurales se dificulta su aplicación. Sin embargo, se han desarrollado algunos sistemas de biomonitorio de bajo costo reportados en la literatura [13], así como el uso de microcontroladores en sistemas para cuidado de los pies en personas con DM y ND [14]; o como sistema de alerta para conductores automovilísticos con DM y ND para evitar accidentes [15].

La integración del uso de la tecnología propuesta en este trabajo se complementó con la entrega de aditamentos personalizados y al alcance de los AM y/o sus cuidadores en condiciones de vulnerabilidad para facilitar el cuidado [16], lo que permitió homologar la ejecución de los ejercicios de Buerger [3]. Además, sirvió como motivador para generar aceptación de la actividad [17][18] y como estrategia gerontecnológica de apego al tratamiento no farmacológico para la mejora de la circulación periférica y la disminución de los síntomas de neuropatía diabética en la comodidad del hogar,

en el horario más cómodo para el usuario; lo anterior, en apego a lo estipulado en los objetivos 3 y 9 de desarrollo sostenible: cobertura universal sanitaria para lograr un envejecimiento saludable, es decir, minimizar los riesgos y complicaciones (Objetivo 3); así como la integración de tecnologías de innovación que soporten la infraestructura para mejorar la atención en salud a los AM y generar intervenciones que den visibilidad a esta población (Objetivo 9) [19]

Se diseñó un instructor digital basado en microcontrolador como una estrategia gerontecnológica de apoyo para homologar y facilitar la ejecución de ejercicios de Buerger en AM con DM y/o sus cuidadores de comunidades marginadas durante el aislamiento por pandemia por COVID-19, quienes participaron en una intervención de enfermería sobre el cuidado de los pies para minimizar el riesgo de pie diabético.[20]. La homologación consistió en: elevación de la posición “E” a un ángulo de 45°; las posiciones “E”, “S” y “R” se ejecutaron por 3 minutos cada una. Cada conjunto de ciclos se ejecutó dos veces al día (por la mañana y por la noche, generalmente) de acuerdo con el horario establecido por el AM con DM y/o su cuidador.

Para guiar esta intervención, se utilizó el Modelo “Estructura-Proceso-Resultado” de Sidani y Braden [21]. En la estructura se consideró las características de los AM y sus cuidadores (edad, sexo; y características del contexto (lugar donde se entregó la intervención). El proceso incluyó los componentes y dosis de la intervención (frecuencia de ejecución ejercicios de Buerger, uso del dispositivo gerontecnológico); reacciones de los participantes (factibilidad); promulgación y adherencia al tratamiento (80% de los AM utiliza el dispositivo gerontecnológico). El resultado lo componen los objetivos de resultados primarios y secundarios. El marco lógico de la intervención gerontecnológica se observa en la Fig. 1.

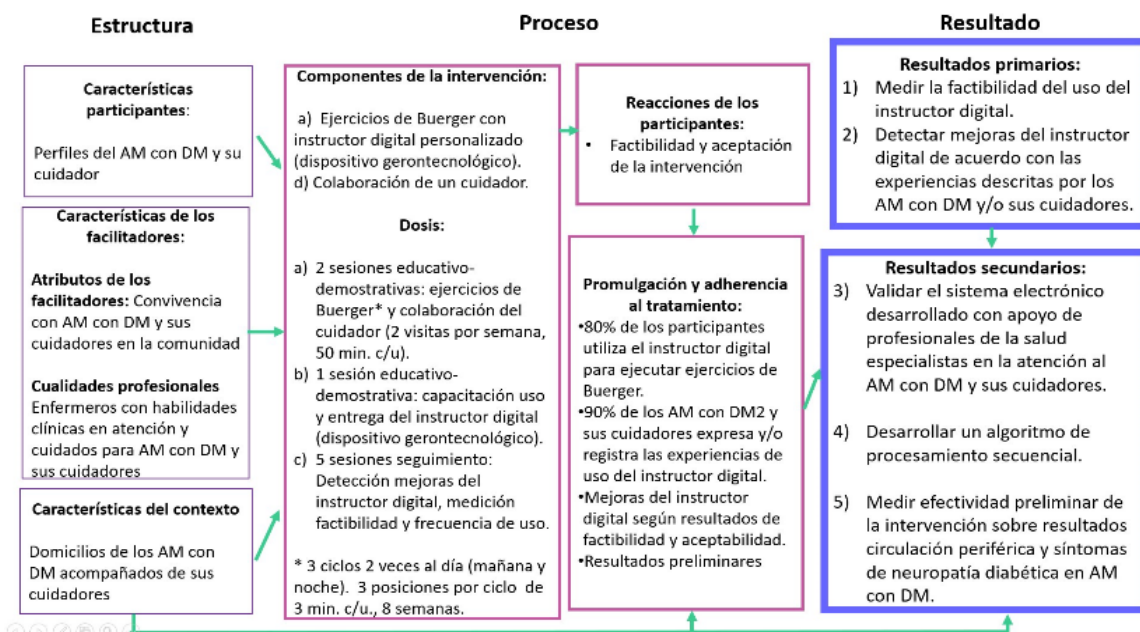


Fig. 1. Marco lógico de la intervención gerontecnológica. Basado en el Modelo “estructura-proceso-resultado” de la Teoría de Intervención de S. Sidani y C. Braden. Fuente: Elaboración propia.

El propósito fue desarrollar un sistema electrónico basado en Arduino, como herramienta gerontecnológica, para apoyo en la homologación de los ejercicios de Buerger y facilitar el cumplimiento de su ejecución por adultos mayores con diabetes mellitus, y que sirviera de apoyo a los cuidadores.

Objetivos para resultados primarios:

- 1) Medir la factibilidad del uso del instructor digital a través de entrevistas semiestructuradas y la frecuencia de uso de éste.
- 2) Detectar mejoras del instructor digital de acuerdo con las experiencias descritas por los AM y/o sus cuidadores durante su uso.

Objetivos para resultados secundarios:

- 3) Validar el sistema electrónico desarrollado con apoyo de profesionales de la salud especialistas en la atención al AM con DM y sus cuidadores.
- 4) Desarrollar un algoritmo de procesamiento secuencial.
- 5) Medir efectividad preliminar de la intervención sobre resultados de la circulación periférica y síntomas de neuropatía diabética en los AM con DM.

La presentación de este trabajo se organiza en las siguientes secciones: Metodología (diseño de la intervención, diseño hardware-software del instructor digital); Resultados y Discusión; Conclusiones y Referencias.

II. METODOLOGÍA

A. Diseño de la Intervención

Se realizó estudio piloto y de factibilidad de mediciones repetidas de un solo grupo [22]. El muestreo fue por conveniencia; se seleccionó a los 20 AM con DM y sus cuidadores participantes de una intervención domiciliar sobre el cuidado de los pies y prevención de PD de noviembre del 2020 a junio del 2021 en Saltillo, Coah. De ese proyecto se obtuvieron resultados *pretest* y *posttest* de datos sociodemográficos (edad, sexo, escolaridad y nivel socioeconómico) y clínicos (control glucémico, tiempo de diagnóstico con diabetes, resultados de circulación y síntomas tempranos de ND) de los AM con DM2. El control glucémico se obtuvo con el resultado de la hemoglobina glucosilada (HbA1c); la circulación periférica con el Índice Tobillo Brazo calculado con Doppler de 8 Hertz; los síntomas tempranos de ND con el Puntaje Modificado de Neuropatía de Toronto [23].

De los cuidadores se registró la edad, sexo, escolaridad y número de horas diarias dedicadas al cuidado del AM [20].

B. Aspectos Éticos

Este trabajo contó con la aprobación del Comité de Ética en Investigación y del Comité de Bioseguridad de la Facultad de Enfermería de la Universidad Autónoma de Nuevo León: FAEN-D-1569.

C. Diseño Hardware-software del Instructor Digital

Para la homologación en la ejecución de los ejercicios de Buerger, se desarrolló un instructor digital basado en la tarjeta Arduino UNO que consta de un algoritmo de temporización

anidada para la realización los de ejercicios de Buerger. Está equipado con bocinas para notificación audible y verbal hacia el usuario AM. Así como un gabinete para su manejo en el entorno doméstico (Fig. 2). Los avisos de notificación se hacen en referencia a un reloj en tiempo real RTC incorporado en el sistema que, a su vez, incorpora un reproductor MP3 de audio con las diferentes notificaciones verbales pregrabadas.

El instructor digital basado en microcontrolador es un aparato que se coloca a la vista y al alcance del AM con DM y/o su cuidador. Utiliza fechas y horas programadas, así como ayuda auditiva.

Dichas ayudas auditivas se reproducen en formato programado, a modo de rutina de ejercicio físico con la adecuación pertinente de tiempo, pausas e indicaciones para el usuario.

C.1. Materiales

Para la integración del hardware se utilizaron los siguientes componentes electrónicos compatibles con la placa de Arduino:

- 1) Tarjeta Arduino UNO R3 CH340 SMD c/cable USB genérica.
- 2) Mini protoboard 120 Puntos.
- 3) Módulo MP3 DFPlayer Mini.
- 4) Resistencia 10k Ω .
- 5) Módulo reloj RTC DS1307.
- 6) Relevador de estado sólido G3MB-202P.
- 7) Buzzer pasivo.
- 8) Bocina.
- 9) Fuente conmutada/eliminador 12V, 2A.
- 10) Botón pulsador (Push Button) On 2 Pines NA.
- 11) Carcasa metálica.
- 12) Juego de Cables Dupont de puente de núcleo sólido.



Fig. 2. Posición de pies elevados durante los ejercicios de Buerger con el uso del instructor digital basado en microcontrolador.

La estructura interna del instructor digital basado en microcontrolador consiste en un circuito electrónico configurado con la placa Arduino (Fig. 3), donde el software es ejecutado por el microcontrolador ATmega328P.

La placa Arduino mantiene una conexión eléctrica con los demás componentes a través del mini protoboard. Este sistema es alimentado en todo momento por una fuente o eliminador de 12 VCD; lo que implica que, para el funcionamiento completo del dispositivo, siempre debe estar conectado a una toma de corriente alterna doméstica a 120 VCA. Este diseño no incluye aditamentos para el uso de baterías.

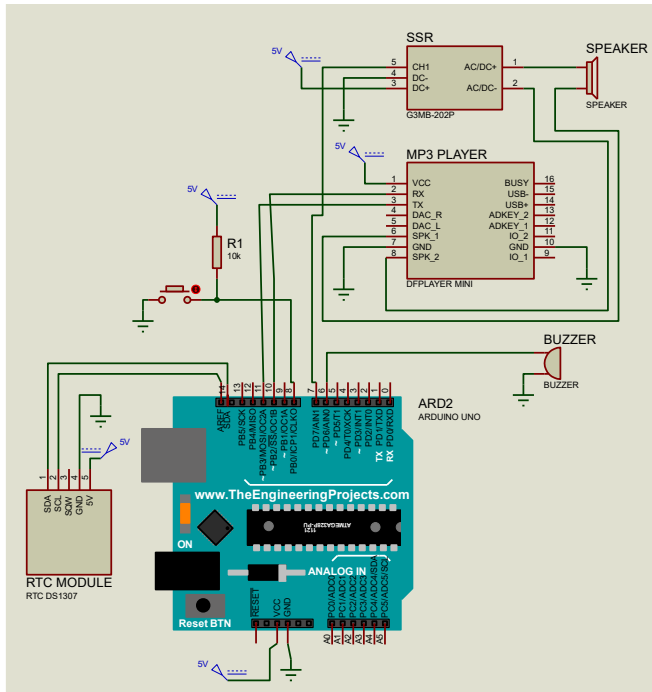


Fig. 3. Diagrama electrónico del instructor digital basado en microcontrolador con la tarjeta Arduino. Fuente: Elaboración propia.

C.2. Métodos

El algoritmo programado se encarga de hacer avisos audibles pregrabados a voz. En la programación se establecieron dos ciclos diarios. En cada uno de los horarios corren seis pistas de audio y tres momentos de retroalimentación del usuario a través de un botón, para facilitar su uso por los AM con DM y/o sus cuidadores.

En el diagrama de flujo de la Fig. 4, el bloque 1 refiere la operación de un módulo Real Time Clock (RTC) que activa el sistema en los horarios correspondientes día con día. Una vez que el instructor digital basado en microcontrolador enciende, las bocinas emiten el audio grabado con la indicación de preparación para el AM con DM, a partir de la cual comienza los ejercicios de Buerger, como se muestra en el bloque 2. A continuación se evalúa una decisión en referencia al estado del botón de retroalimentación (elemento 10 de la lista de materiales) como lo indica el bloque 3. Para el caso de la opción “SÍ” a esta decisión se emiten las instrucciones y se ejecutan las temporizaciones como lo muestra el bloque 4. Para el caso de la opción “NO”, se omiten las instrucciones.

Hay al menos una instrucción grabada con voz y/o sonido

para cada uno de los ejercicios, de acuerdo con las instrucciones específicas según el ejercicio de Buerger en turno. El temporizador está programado con tres minutos de duración para cada ejercicio. Empieza a operar cuando la retroalimentación es recibida a través del botón.

Estando en el bloque 3, en caso de nula retroalimentación, el sistema inicia un ciclo de espera, dando tiempo a los preparativos del AM con DM y/o su cuidador para realizar los ejercicios. Si el botón no es oprimido durante 24 horas, entonces el sistema se reinicia al día posterior.

Un ciclo se forma ejecutando los tres ejercicios. En un momento dado, el bloque 5 determina el límite en el número de repeticiones, establecido en tres, de acuerdo a la metodología de Buerger. Una vez realizados los ejercicios comienza un periodo de descanso como lo muestra el bloque 6.

El bloque 7 es una decisión que habilita al sistema para iniciar en el momento programado el siguiente conjunto de ciclos en el caso de que no se haya llegado la hora programada. El sistema termina su proceso diario al haber realizado ambos conjuntos de ciclos.

D. Plan de Análisis de Datos

Los datos se procesaron en el paquete estadístico SPSS (Statistical Package for Social Sciences) versión 23 para Windows. Para los datos descriptivos se procesaron medidas de tendencia central y dispersión, frecuencias y porcentajes. Se aplicaron pruebas de rango de Wilcoxon [24], para comparar las diferencias del pretest - posttest. Se calculó el tamaño de efecto para puntuaciones Z de Wilcoxon [25].

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los AM contaban con una edad promedio de 67.52 (con desviación estándar $DE=6.42$) años; escolaridad de primaria incompleta con 5.25 ($DE=6.42$) años. El nivel socioeconómico se distribuyó como: bajo bajo = 8 (40%), bajo medio = 5 (25%), medio bajo = 2 (10%), medio medio = 1 (5%) y medio = 4 (20%). La hemoglobina glucosilada (HbA1c) de 6.68 ($DE=.69$) indicó control glucémico; el tiempo de diagnóstico con la DM fue 13.56 ($DE=8.1$) años.

Los cuidadores tenían 48.35 ($DE=16.26$) años en promedio; 95% ($f=19$) eran mujeres; contaban con preparatoria incompleta (10.41 años, $DE=5.99$). Las horas diarias dedicadas al cuidado del AM osciló entre 3.8 y 9.11 horas.

Se logró desarrollar un instructor digital para homologar la ejecución de los ejercicios de Buerger. De 20 AM que recibieron los instructores digitales, sólo 15 (100%) terminaron el programa en el tiempo estimado. De éstos, sólo 13 (86.66%) utilizaron el instructor digital. Los otros dos decidieron hacer los conteos en su celular, ya que tenían acceso a internet y dispositivo móvil.

A. Resultados Primarios

Objetivo 1: En cuanto a la factibilidad del uso del instructor digital basado en microcontrolador, se consideró el nivel de satisfacción y las descripciones satisfactorias por parte de los AM y sus cuidadores. Once (73.33%) AM con DM y seis (40%) de los cuidadores se sintieron “muy satisfechos”.

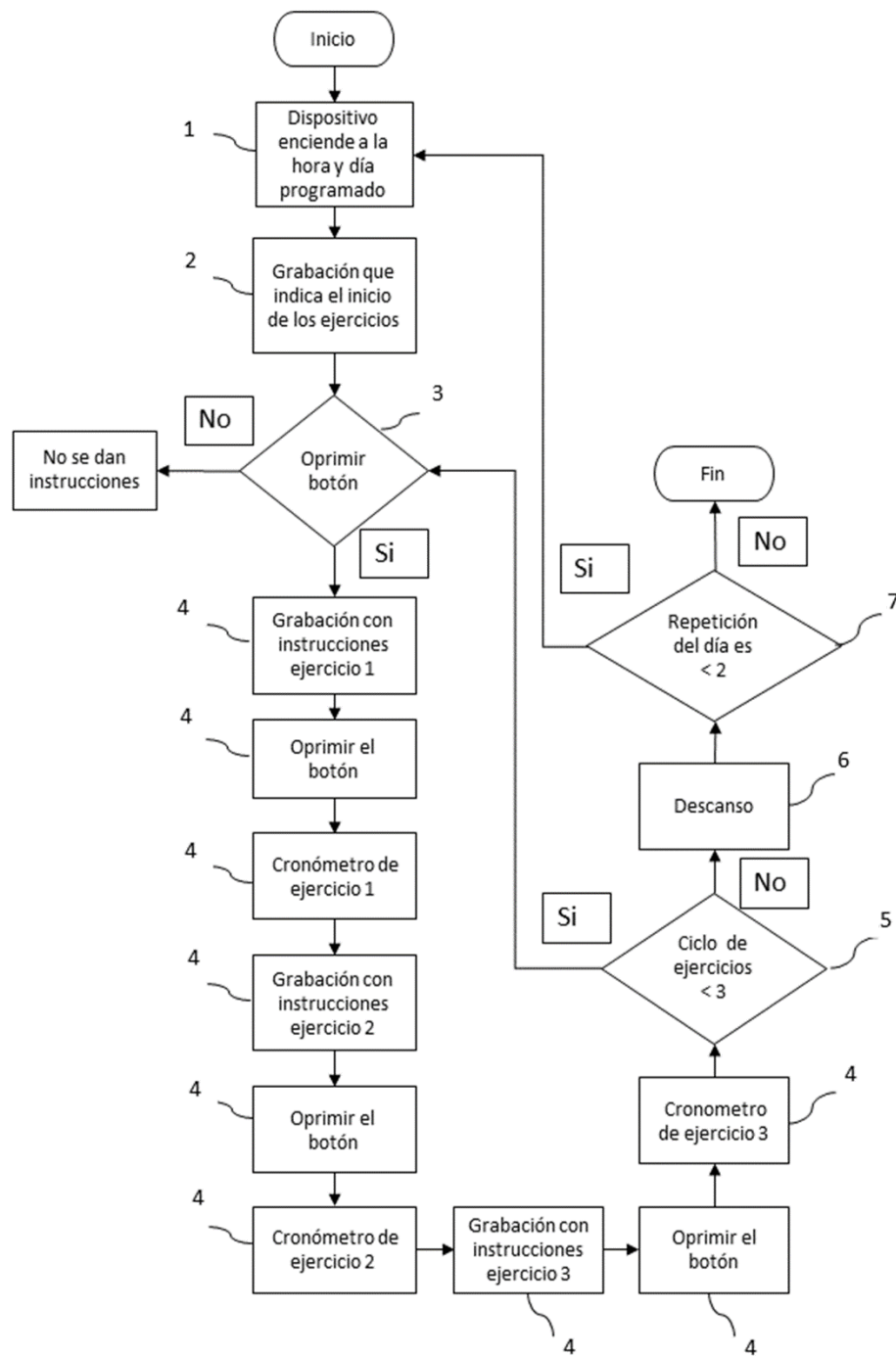


Fig. 4. Diagrama de flujo del algoritmo para la tarjeta Arduino. Fuente: elaboración propia.

Estos mismos lo describieron como un apoyo para recordar la ejecución de los ejercicios de Buerger (“se me pasa más rápido el tiempo cuando uso el aparato”, “es muy puntual”) y apoyo para los cuidadores (“sí nos ayudó... me liberaba trabajo”).

Objetivo 2: Para la detección de mejoras se consideraron las experiencias no satisfactorias con el uso del instructor digital; éstas se dieron durante la primera semana de su uso. Hubo falla en la memoria de 4 (26.6%) de los aparatos, por lo que se cambió de proveedor de memorias y se entregaron nuevamente

a los AM y sus cuidadores (“el aparato se detenía de repente, le chequé el tiempo y no contaba los tres minutos...”, “el aparato ya no prendió de repente...”). Uno de los cuidadores (6.6%) mencionó incomodidad al tener que dirigirse al lugar donde conectaban el instructor digital porque no tenía conexiones eléctricas cerca de la cama donde su familiar AM realizaba los ejercicios (“sí nos ayudó... nada más que tengo que andar caminando y acomodándole, me queda lejos la conexión”).

El temor de que el instructor digital se dañara fue otra de las

manifestaciones negativas en 4 AM (26.6%) (“y... ¿si se descompone?”). Dos AM (13.3%) no usaron el instructor digital, en su lugar utilizaron el celular y sugirieron se desarrolle una aplicación (APP) (“una aplicación hubiera estado mejor, así ya usas el celular y no tienes que andar conectando el aparato...”). Estos dos últimos AM, tenían celular propio y acceso a internet las 24 horas del día.

B. Resultados para Objetivos Secundarios:

Objetivo 3:

Para la validación del desarrollo del instructor digital se consideraron los datos de circulación periférica con los resultados del Índice Tobillo Brazo (ITB) y de los síntomas tempranos de ND, ambos medidos por profesionales de salud. Los resultados del ITB mostraron que hubo mejora, casi imperceptible, de la circulación periférica de las zonas tibial y pedial del pie derecho; y la zona tibial del pie izquierdo (TABLA I).

No se observaron diferencias significativas entre el pretest y posttest de las variables de la circulación periférica de los pies, de acuerdo a los resultados de la prueba de Wilcoxon ($p > 0.05$). En el pie derecho el efecto fue pequeño tanto en tibial como en pedial. En el pie izquierdo el efecto fue mediano en el tibial y pequeño en el pedial (TABLA II).

Respecto a los síntomas tempranos de ND, el dolor fue el síntoma en el que sí se observó mejora en la medición posttest: 1 (6.7%) AM pasó de dolor intenso con interferencia en la realización de actividades de la vida diaria (AVD) a dolor presente pero no interferente; mientras que en 2 (13.33%) AM el dolor disminuyó de molesto a sólo presente sin molestia. También hubo mejora en los síntomas de entumecimiento en 3 AM (20%) y en el hormigueo de 3 AM (20%). En la ataxia referida por 4 (16.66%) de AM y debilidad por 2 AM (13.3%), no se notó cambio. En todos los casos, los síntomas presentes posttest ya no interfirieron en las AVD y en éstos (Fig. 5).

TABLA I

RESULTADOS DE LA CIRCULACIÓN PERIFÉRICA ANTES Y DESPUÉS DEL USO DEL INSTRUCTOR DIGITAL BASADO EN ARDUINO UNO. Fuente: elaboración propia.

ITB	Pretest (n=15)		Posttest (n=15)	
	M	DE	M	DE
Pie Derecho				
Tibial	0.93	0.12	0.96	0.24
Pedial	0.95	0.12	1.00	0.19
Pie Izquierdo				
Tibial	0.97	0.15	1.05	0.24
Pedial	1.04	0.19	1.02	0.15

n=15; ITB= Índice Tobillo Brazo; M = media; DE = desviación estándar.

TABLA II

PRUEBA DE LOS RANGOS CON SIGNO DE WILCOXON PARA VARIABLES DE CIRCULACIÓN PERIFÉRICA. Fuente: elaboración propia.

Variable	Mdn		z	p	TE
	Pretest	Posttest			
Pie derecho					
ITB tibial	0.92	0.92	-0.17 ^b	0.86	-0.19
ITB pedial	0.93	1.00	-0.15 ^c	0.87	-0.16
Pie izquierdo					
ITB tibial	0.93	1.04	-1.53 ^c	0.12	-4.46
ITB pedial	1.00	1.00	-0.24 ^b	0.80	-0.26

n=15; Mdn= Mediana; z= Prueba de rangos con signo de Wilcoxon; b=basado en rangos positivos; c= basado en rango negativos; p= significancia, TE = tamaño de efecto, PD= pie diabético, ITB= Índice Tobillo Brazo.

IV. CONCLUSIONES

El uso del instructor digital basado en microcontrolador Arduino UNO es un auxiliar que sirvió de “guía” para homologar los ejercicios de Buerger (conjunto de ciclos, horarios y tiempo). Su uso tuvo mayor aceptabilidad con los

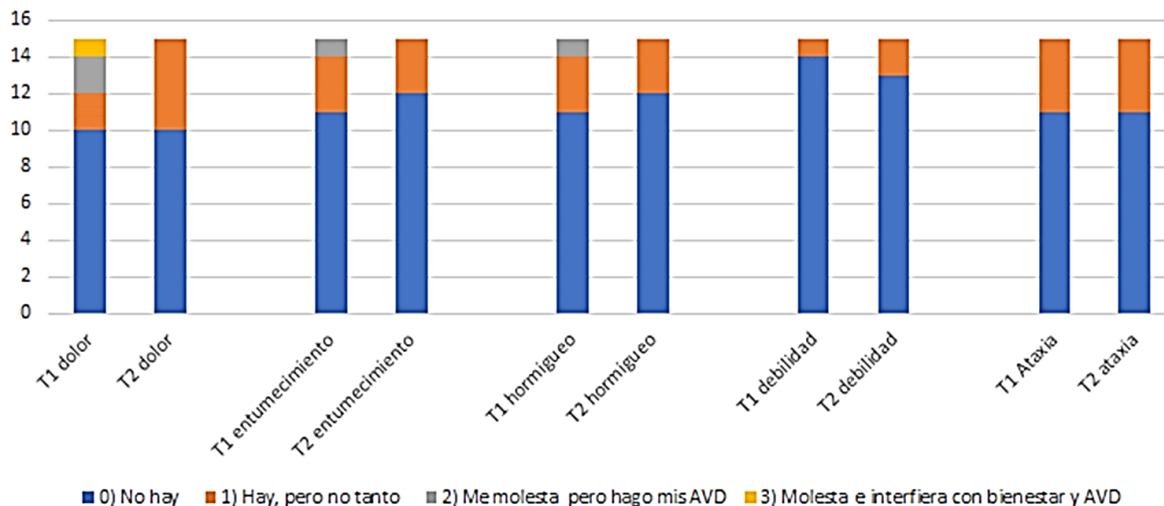


Fig. 5. Síntomas tempranos de ND T1 indica los síntomas pretest, y T2 los síntomas post test. Fuente: elaboración propia.

AM de nivel socioeconómico bajo (bajo-bajo y bajo-medio), ya que lo describieron como “guía” para controlar horarios, tiempo

y la correcta ejecución de los ejercicios de Buerger. Otros AM lo describieron como “motivador” porque cuando lo usaban tenían oportunidad de concentrarse en otra actividad mental mientras ejecutaban sus ejercicios, sin temor a equivocarse. Los cuidadores lo percibieron como “un apoyo”, porque su uso no les generó preocupación por estar atentos al tiempo de cuidado para esta actividad, ni aumentó el número de actividades.

Se observó mejora en la circulación periférica y disminuyó la sensación de dolor en los AM con DM que participaron en la intervención domiciliaria y utilizaron el instructor digital.

El instructor digital basado en microcontrolador se programó con el horario especificado por el AM y su cuidador. Contó sólo con un botón para su fácil uso. El software desarrollado en este trabajo se pone a disposición en el proyecto GitHub correspondiente con la liga: <https://github.com/riosew/Buerger-System.git>. Así mismo, los archivos de audio que el sistema utilizó para proveer instrucciones audibles hacia los usuarios.

El instructor digital basado en microcontrolador con tarjeta Arduino UNO es susceptible a mejoras y actualizaciones para continuar su uso en futuras intervenciones.

Se planea como trabajo futuro la reducción del tamaño del dispositivo instructor digital, la inclusión con sensores de posición y movimiento para verificar la ejecución de las rutinas, y desarrollar una aplicación con las mismas funciones.

REFERENCES

- [1] N.C. Schaper et al., “Practical guidelines on the prevention and management of diabetes-related foot disease (IWGDF 2023 update),” *Diabetes Metab. Res. Rev.*, 2024, e3657, doi: 10.1002/dmrr.3657.
- [2] CONEVAL. (2024, march). Personas adultas mayores en México, evidencia para la toma de decisiones, Primera edición, p.p. 10 – 12. [Online]. Available on: https://www.coneval.org.mx/InformesPublicaciones/Documents/PAM_evidencia.pdf.
- [3] Ch. Chyong-Fang, Ch. Chang-Cheng, H. Su-Lun and Ch. Mei-Yen, "Effects of Buerger exercise combined health promoting program on peripheral neurovasculopathy among community residents at high risk for diabetic foot ulceration," *Worldviews on Evidence Based Nursing*, vol. 12, no. 3, pp. 145-153, 2015. doi: 10.1111/wvn.12091.
- [4] A. Thakur, R. Sharma, S. K. Sharma, K. Thakur and P. Jelly, "Effect of buerger allen exercise on foot perfusion among patient with diabetes mellitus: A systematic review & meta-analysis," *Diabetes & Metabolic Syndrome: Clinical Research & Reviews*, vol. 16, no. 2, 2022, doi: 10.1016/j.dsx.2022.102393.
- [5] S. Rusdianah, T. Tahir and S. Yusuf, "The effect of Buerger Allen exercise and the provision of oral vitamin C toward the improvement of peripheral tissue perfusion and healing of diabetic foot ulcers," *Enfermería Clínica*, vol. 31, no. 5, pp. S709-S712, 2021, doi: 10.1016/j.enfcli.2021.07.022.
- [6] J. Radhika, G. Poomalai, S. Nalini and R. Revathi, "Effectiveness of Buerger-Allen Exercise on Lower Extremity Perfusion and Peripheral Neuropathy Symptoms among Patients with Diabetes Mellitus," *Iran J Nurs Midwifery Res.*, vol. 25, no. 4, pp. 291-295, Jun. 2020, doi: 10.4103/ijnmr.IJNMR_63_19.
- [7] M.L. Chen et al., "The application of wireless near-infrared spectroscopy on detecting peripheral circulation in patients with diabetes foot ulcer when doing Buerger’s exercise," *Lasers Surg Med.*, vol. 49, no. 7, pp. 652-657, Sep. 2017, doi: 10.1002/lsm.22667.
- [8] S. Ahn and R. Song, "Effects of Tai Chi Exercise on glucosa control, neuropathy scores, balance, and quality of life in patients with type 2 diabetes and neuropathy," *J Altern Complement Med.*, vol. 18, no. 12, pp. 1172-1178, Dec. 2012, doi: 10.1089/acm.2011.0690.
- [9] B.S. Lin et al., "The assessment of Buerger’s exercise on dorsal foot skin circulation in patients with vasculopathic diabetic foot ulcer by using Wireless vasculopathic diabetic foot ulcer by using Wireless near-infrared spectroscopy: a cohort prospective study," *Lasers Med Sci.*, vol. 33, no. 5, pp. 977-982, Jul. 2018, doi: 10.1007/s10103-017-2420-6.
- [10] F. De la Torre, D. Morales and C. P. Quiroz, “Gerontechnology: rapid review and global trends,” *Rev Mex Ing Biomed*, vol. 36, no. 3, pp. 171-179, 2015, doi: 10.17488/RMIB.36.3.3.
- [11] G. Huang and S.A. Oteng, “Gerontechnology for better elderly care and life quality: a systematic literature review,” *Eur J. Ageing*, vol. 20, no. 1, 2023, doi: 10.1007/s10433-023-00776-9.
- [12] A. Loya, J. Ríos and J. Gómez, "Interacción espacial humano-robot, robots de servicio en asistencia al adulto mayor," *Computer Sapiens*, Año 14, vol. 1, pp. 28-32, 2022. [Online]. Available: https://cudi.edu.mx/sites/default/files/adjuntos/noticias/ks141_2_64MB_compacta.pdf.
- [13] A. Mejía De Castro, J. Blanco Escobar y L.D. Díaz Charris, "Sistemas de monitoreo biomédico de bajo costo: Una revisión sistemática," *Boletín De Innovación, Logística y Operaciones*, vol. 2, no. 2, pp. 10-16, 2020, doi: 10.17981/bilo.2.2.2020.2.
- [14] M. Yavuz et al., "Temperature- and pressure-regulating insoles for prevention of diabetic foot ulcers," *J Foot Ankle Surg.*, vol. 59, no. 4, pp. 685-688, Jul-Aug. 2020, doi: 10.1053/j.jfas.2019.05.009.
- [15] J. Esparza, P. Gudimetla, S. De Silva and C.A. Unsworth, "An early warning system for diabetic automobile drivers with peripheral neuropathy," *Disabil Rehabil Assist Technol.*, vol. 16, no. 6, pp. 624-631, Aug. 2021, doi: 10.1080/17483107.2019.1686076.
- [16] M. Delabra-Salinas y B. Salazar-González, "Revisión sistemática de intervenciones para la prevención de pie diabético en adultos mayores con diabetes," *SANUS*, vol. 7, no. 18, 2022. doi: 10.36789/revsanus.vi1.292.
- [17] L. Lavery et al., "Preventing diabetic foot ulcer recurrence in high-risk patients," *Diabetes Care*, vol. 30, no. 1, pp. 14-20, 2007. doi: 10.2337/dc06.1600.
- [18] T. Orenius et al., "Pilotoando un Smart rollator: experiencias del usuario con la motivación relacionada con la tecnología y la actividad física," *Gerontechnology*, vol. 20, no. 2, pp. 1-10, 2021, doi: 10.4017/gt.2021.20.2.420.01.
- [19] Naciones Unidas. Informe de los Objetivos de Desarrollo Sostenible 2023. Edición Especial. (2023), [Online]. Available on: <https://bit.ly/3WDP3b7>.
- [20] M. M. Delabra-Salinas, "Estudio piloto y de factibilidad de una intervención domiciliaria con apoyo del cuidador en adultos mayores con riesgo de pie diabético", Tesis doctoral, Facultad de Enfermería, Universidad Autónoma de Nuevo León, Mex., 2021. [online]. Available: <http://eprints.uanl.mx/22561/1/1080315501.pdf>.
- [21] S. Sidani and C. Braden, “Intervention Theory”, in *Design, evaluation and translation of nursing interventions*, UK: Willey-Blackwell, 2011, pp. 61-71.
- [22] L. Glitin and S. Czaja, "Theory: a driver of behavioral intervention research," in *Behavioral intervention research; designing, evaluation and implementing*, NY, USA: Springer Publishing Connect, 2015, doi: 10.1891/9780826126597.

- [23] V. Bril *et al.*, "Reliability and validity of the modified Toronto Clinical Neuropathy Score in diabetic sensorimotor polyneuropathy," *Diabet Med.*, vol. 26, no. 3, pp. 240-246, 2009, doi: 10.1111/j.1464-5491.2009.02667.x.
- [24] A. Quispe-Andía, K.M. Calla-Vasquez, J.S. Yangali-Vicente, J.L. Rodríguez-López y I. I. Pumacayo-Palomino, "La prueba de Wilcoxon" en *Estadística no paramétrica aplicada a la investigación científica con software*, vol. 1, Colombia: EIDEC, 2019, pp. 36-40, [Online]. Available: <https://www.editorialeidec.com/wp-content/uploads/2020/01/Estad%C3%ADstica-no-param%C3%A9trica-aplicada.pdf>.
- [25] S. Domínguez-Lara, "Magnitud del efecto, una guía rápida," *Educación Médica*, vol. 19, no. 4, pp. 251-254, 2018, doi: 10.1016/j.edumed.2017.07.002.



Ernesto Rios Willars holds a Ph.D. degree in Biotechnology (2016) and a Master's degree (2012) in Computer Science with an emphasis in Information Systems from the Autonomous University of Coahuila (UAdeC). He received a Master's Degree in Education from the Interamerican University for Development (2009). He is Professor of Systems Engineering and Electronics at the Faculty of Systems of the UAdeC and professor of Electronics at the Center for Technological and Services Baccalaureate (CBTiS 235). Dr. Ríos is a member of both the Mexican Society of Biomedical Engineering, the State System of Researchers of Coahuila and the Multidisciplinary Network of Care, Technology, Behavior and Health.



Brandon Emmanuel Delabra Salinas received a B.S. in Computer Systems Engineering from the Autonomous University of Coahuila (2022). He was winner of the 2021 Science and Engineering Fair. He is creator of short films with messages of social impact on issues of violence prevention and care for older adults, and their caregivers.



María Magdalena Delabra Salinas holds a PhD (2021) and a Master's degree (2005) in Nursing Sciences from the Autonomous University of Nuevo León. She is a Professor-Researcher at the Autonomous University of Coahuila. She works on community and prevention projects such as diabetic foot risk, spiritual nursing care, urinary incontinence with older adults and their caregivers; Promotion of breastfeeding and respectful childbirth. Dr. Delabra is a member of the NAB Master's Program in Nursing with a focus on the older adults care.



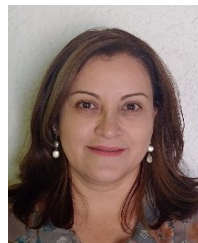
Daniel Sifuentes Leura holds a PhD in Nursing Sciences from the University of Guanajuato (2019), and a Master's Degree in Nursing Sciences from the Autonomous University of Nuevo León (2005). He is a Professor-Researcher at the Autonomous University of Coahuila. He is a nurse active in clinical practice at Saltillo General Hospital, expert in metabolic processes. Dr. Sifuentes is a member of the NAB Master's Program in Nursing with a focus on the older adults care.



Nereyda Hernández Nava holds a PhD (2023) in Mental Health from the Western Higher Studies Institute, a Master's Degree (2006) in Social Gerontology from the University of Guadalajara in México, and a Bachelor's Degree in Nursing (1997) from the Michoacan University of San Nicolas de Hidalgo. She is a Professor-Researcher at the Autonomous University of San Luis Potosí.



Alejandro Martínez Ramírez holds a Ph.D. degree (2006) and a Master degree (2000) on Science of Electronics from the National Institute of Astrophysics, Optics, and Electronics (INAOE), México. Bachelor of Electronics (1996) from the Distinguished Autonomous University of Puebla. He is a Professor-Researcher at the Autonomous University of San Luis Potosí.



Rosa Eréndira Fosado Quiroz holds a PhD in Chemistry from the Metropolitan Autonomous University – Iztapalapa (2010), and a degree in Chemistry from the Autonomous University of the State of Hidalgo (1996). She is a Professor-Researcher at the Autonomous University of San Luis Potosí.



Bertha Cecilia Salazar González holds a PhD (Nursing) from the Wayne State University: Detroit, MI, US (1999). She is a Professor-Researcher at the Autonomous University of Nuevo León. Dr. Salazar is a member of Red ESAM-México and Sigma Theta Tau International- Tau Alpha Chapter. Member of The Gerontological Society of America, USA. She has recognition from the National System of Researchers with level 1 (2024-2039).