Intervenciones adaptativas con inteligencia artificial para mejorar el sueño en adultos mayores

Velit Esteban Cortez Mendez[1], Ana Belén Gil González[1] and María Angélica González Arrieta[1]

[1] Programa de Doctorado en Inteligencia Artificial Aplicada, Universidad de Salamanca, Salamanca, Spain
idu080446@usal.es, abg@usal.es, angelica@usal.es

Resumen. Esta propuesta doctoral plantea el diseño, implementación y evaluación de un sistema de intervenciones adaptativas en el momento oportuno (Just-In-Time Adaptive Interventions, JITAI), apoyado en inteligencia artificial (IA), dispositivos inteligentes y autorreportes breves, para favorecer la mejora del sueño y la gestión del estrés en adultos mayores de 60 años. La motivación principal es sencilla: muchas soluciones digitales de bienestar miden datos, pero ofrecen recomendaciones genéricas, poco sensibles al contexto y, en ocasiones, difíciles de sostener por la fatiga de notificaciones. Frente a ello, se propone un sistema que aprenda cuándo conviene intervenir, qué microintervención puede ser más adecuada y cómo explicar la recomendación de forma breve y comprensible. La investigación combinará co-diseño con personas mayores, prototipado, evaluación en vida real y análisis longitudinal mediante ensayos microaleatorizados (Micro-Randomized Trials, MRT). Se recogerán únicamente datos necesarios y seudonimizados, como señales agregadas de sueño, actividad, frecuencia cardíaca, variabilidad de la frecuencia cardíaca y autorreportes ultrabreves de estrés, utilidad percibida, aceptación e intrusividad. La contribución científica se sitúa en la intersección entre IA aplicada, salud digital y metodología experimental: comparar reglas fijas con políticas adaptativas basadas en aprendizaje contextual, incorporando inteligencia artificial explicable (Explainable Artificial Intelligence, XAI) mediante explicaciones breves del tipo "por qué ahora". El proyecto se plantea como una solución de bienestar de bajo riesgo, sin finalidad diagnóstica ni terapéutica, y con privacidad por diseño conforme a la normativa europea de protección de datos.

Palabras clave: JITAI; inteligencia artificial explicable; dispositivos vestibles; sueño; adultos mayores.

1 Antecedentes

Las alteraciones del sueño y el estrés afectan de forma relevante al bienestar físico, emocional y cognitivo. En adultos mayores, estos fenómenos pueden coexistir con rutinas irregulares, sedentarismo, fatiga y menor recuperación fisiológica. La investigación en envejecimiento activo necesita soluciones que no se limiten a medir varia-

bles, sino que ayuden a transformar esas mediciones en apoyo oportuno, prudente y aceptable para la persona.

La disponibilidad de smartwatches, anillos inteligentes y teléfonos móviles permite observar patrones de sueño, actividad y señales fisiológicas en condiciones reales. Sin embargo, la tecnología por sí sola no garantiza una intervención útil. En esta investigación se parte de una idea central: más datos no significan necesariamente mejor acompañamiento. Lo importante es seleccionar datos mínimos, interpretarlos con cuidado y convertirlos en decisiones comprensibles para el usuario.

Las intervenciones adaptativas en el momento oportuno (Just-In-Time Adaptive Interventions, JITAI) buscan proporcionar el tipo adecuado de apoyo, en el momento adecuado y con la intensidad adecuada, adaptándose al estado de la persona y a su contexto [1]. Los ensayos microaleatorizados (Micro-Randomized Trials, MRT) permiten evaluar efectos proximales en múltiples puntos de decisión, estimando qué componentes funcionan, para quién y bajo qué circunstancias [2]. Esta lógica es especialmente pertinente para microintervenciones de baja intensidad, como respiración guiada, pausa activa, higiene del sueño o desconexión digital, cuyos efectos pueden depender fuertemente del momento de entrega.

Desde el estado del arte, las revisiones recientes coinciden en que las intervenciones adaptativas en el momento oportuno aplicadas a salud mental y bienestar están en una fase de consolidación, existe evidencia inicial de factibilidad y aceptabilidad, pero persisten debilidades en la definición de reglas de decisión, medición de receptividad, uso de datos pasivos, protección de datos y evaluación mediante diseños de optimización como ensayos microaleatorizados [16,20].

En sueño y estrés, los estudios más próximos combinan retroalimentación adaptativa, evaluación momentánea ecológica (Ecological Momentary Assessment, EMA), dispositivos vestibles (wearables), variabilidad de la frecuencia cardíaca (Heart Rate Variability, HRV), variables contextuales y evaluación en vida real [3-8,18,19]. No obstante, siguen existiendo vacíos relevantes: escasa evidencia en adultos mayores, heterogeneidad en ventanas de efecto proximal, dependencia de sensores comerciales, datos faltantes por uso intermitente y limitada integración entre personalización algorítmica e IA explicable orientada al usuario final. Este trabajo se sitúa precisamente en ese espacio, no solo propone un prototipo, sino una arquitectura experimental trazable para estudiar cuándo intervenir, cuándo no intervenir y cómo justificar la decisión de forma comprensible.

2 Objetivos

El objetivo general es diseñar, implementar y evaluar un sistema de intervenciones adaptativas en el momento oportuno basado en inteligencia artificial explicable (Explainable Artificial Intelligence, XAI), mediante el uso de dispositivos inteligentes y autorreportes breves, para apoyar la mejora del sueño y la gestión del estrés en adultos mayores de 60 años, optimizando la personalización mediante ensayos microaleatorizados y políticas adaptativas.

- Definir el modelo de intervención: resultados proximales y distales, puntos de decisión, variables de personalización, opciones de microintervención y criterios de disponibilidad.
- Diseñar un producto mínimo viable experimental para capturar señales agregadas, entregar microintervenciones y registrar aceptación, adherencia, utilidad e intrusividad.
- Desarrollar un modelo de vulnerabilidad y un módulo de receptividad basado en patrones individuales, historial de respuesta y contexto temporal.
- Comparar reglas fijas, disparadores fisiológicos/conductuales y una política adaptativa basada en aprendizaje contextual.
- Integrar explicaciones breves y evaluarlas en términos de comprensión, confianza, utilidad percibida y adherencia.
- Analizar la robustez frente a datos faltantes, uso intermitente, variabilidad por dispositivo y diferencias individuales.

La hipótesis de partida es que una política adaptativa contextual puede seleccionar microintervenciones más efectivas y menos intrusivas que una estrategia de reglas fijas, siempre que incorpore receptividad, calibración individual, control de fatiga y explicaciones comprensibles.

3 Metodología

La tesis seguirá un enfoque mixto, iterativo y centrado en el usuario. La primera fase será exploratoria y de co-diseño con adultos mayores de 60 años, mediante entrevistas breves, cuestionarios de aceptabilidad o talleres reducidos. El objetivo será comprender necesidades reales, barreras de uso, lenguaje preferido, horarios aceptables, percepción de privacidad y tolerancia a notificaciones. Esta fase reducirá el riesgo de diseñar una solución técnicamente correcta pero poco aceptable para la población destinataria.

La segunda fase desarrollará el producto mínimo viable (Minimum Viable Product, MVP) experimental, con una app o bot de interacción, un backend ligero, un motor de decisión y registro de eventos. La tercera fase será un piloto de factibilidad para validar calidad de datos, comprensión de instrucciones, funcionamiento de notificaciones y carga percibida. La cuarta fase será el estudio principal mediante ensayos microaleatorizados (Micro-Randomized Trials, MRT), donde en cada punto de decisión el sistema podrá enviar una microintervención, variar el tipo de apoyo o simplemente no intervenir.

La población objetivo serán adultos mayores de 60 años, con plena capacidad para prestar consentimiento informado y participación voluntaria. Los criterios de inclusión considerarán edad, comprensión suficiente de instrucciones, disponibilidad para responder cuestionarios y, en fases con dispositivo, capacidad mínima para utilizar smartphone o algún otro dispositivo inteligente. El tamaño muestral definitivo se estimará antes del estudio principal considerando número de participantes, puntos de decisión, tasa de respuesta y adherencia esperada.

Los datos se recogerán bajo un principio de minimización. Las variables nucleares serán: duración y regularidad del sueño, eficiencia aproximada, despertares, pasos, sedentarismo, frecuencia cardíaca en reposo, variabilidad de la frecuencia cardíaca nocturna o de reposo cuando esté disponible, estrés percibido (0-10), calidad de sueño al despertar, respuesta a notificaciones, ejecución de microintervención, utilidad percibida e intrusividad [13,14]. Se evitarán por defecto geolocalización exacta, audio, vídeo, imágenes, contactos y datos clínicos detallados.

3.1 Arquitectura preliminar

La arquitectura preliminar se plantea como una arquitectura integrada de intervenciones adaptativas en el momento oportuno, ensayos microaleatorizados e inteligencia artificial explicable con un diseño modular y auditable. Su finalidad no es solo implementar una aplicación de bienestar, sino disponer de una infraestructura experimental capaz de decidir, en cada punto de decisión, si procede intervenir, qué microintervención entregar, cuándo es preferible no intervenir y cómo justificar la recomendación al usuario. Esta propuesta se apoya en los componentes canónicos de las JITAI, como el resultado distal, los resultados proximales, los puntos de decisión, las opciones de intervención, las variables de personalización y las reglas de decisión [1,16]. Asimismo, incorpora la lógica de los ensayos microaleatorizados para estimar efectos proximales bajo asignaciones repetidas en condiciones de vida real [2,17]. En conjunto, la arquitectura traduce los principales vacíos identificados en el estado del arte, especialmente receptividad, datos faltantes, baja intrusión, evaluación proximal y explicabilidad, en módulos verificables dentro del diseño doctoral.

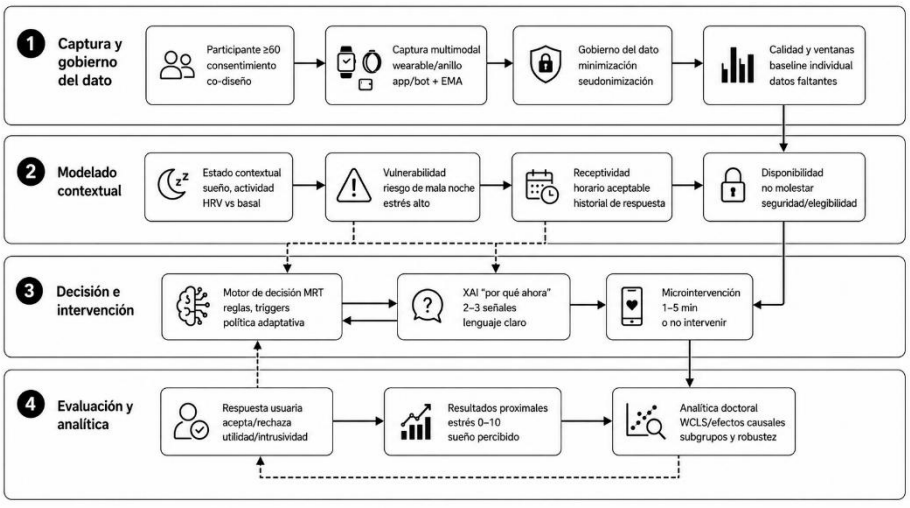


Fig. 1. Arquitectura preliminar JITAI-MRT-XAI para sueño y estrés en adultos mayores. Elaboración propia

La capa de captura combina datos pasivos de dispositivo vestible, anillo inteligente o smartphone con autorreportes ultrabreves tipo evaluación momentánea ecológica (Ecological Momentary Assessment, EMA). Para mantener bajo riesgo e intrusión, se priorizan señales agregadas de sueño, actividad, frecuencia cardíaca, variabilidad de la frecuencia cardíaca (Heart Rate Variability, HRV), cuando esté disponible, estrés percibido, utilidad e intrusividad. La evidencia reciente recomienda interpretar con cautela las señales fisiológicas de dispositivos comerciales y evitar convertirlas en diagnóstico clínico [8,9]. Por ello, el sistema trabajará con ventanas temporales, control de calidad, datos mínimos y patrón basal individual, especialmente relevante en adultos mayores por la alta variabilidad interindividual.

La capa de estado contextual separa tres conceptos: vulnerabilidad, receptividad y disponibilidad. La vulnerabilidad resume señales de posible necesidad de apoyo, como mala noche, sedentarismo prolongado, estrés alto o HRV inferior al patrón basal. La receptividad estima la probabilidad de que la persona acepte o complete una microintervención según horario, historial de respuesta y carga acumulada de notificaciones. La disponibilidad actúa como filtro de seguridad y elegibilidad: ventanas de no molestar, máximo diario de mensajes, posibilidad de posponer y opción explícita de no intervenir. Esta separación está alineada con estudios de retroalimentación adaptativa de sueño, disparadores fisiológicos basados en HRV, JITAI de actividad en adultos mayores y sistemas de estrés con variables de personalización y compromiso de uso [3,4,7,18,19].

El motor de decisión experimental comparará progresivamente reglas fijas transparentes, disparadores fisiológicos y conductuales y una política adaptativa basada en aprendizaje contextual. En los ensayos microaleatorizados, cada punto de decisión registrará contexto, disponibilidad, probabilidad de asignación, acción, explicación, respuesta del usuario y resultado proximal. La opción “no intervenir” se considera una acción experimental necesaria, no una ausencia de diseño, porque permite estimar cuándo el apoyo aporta valor y cuándo puede producir fatiga. El análisis doctoral deberá contemplar efectos causales proximales, heterogeneidad por subgrupos, datos faltantes y robustez frente a uso intermitente [10,11,17].

La capa de interacción y explicabilidad entregará microintervenciones de baja intensidad y duración aproximada de 1 a 5 minutos: respiración guiada, relajación breve, pausa activa, higiene del sueño, recordatorio de rutina o desconexión digital. Cada recomendación podrá incluir una explicación breve del tipo “por qué ahora”, basada en dos o tres señales comprensibles para el usuario. La inteligencia artificial explicable (Explainable Artificial Intelligence, XAI) se plantea aquí como un mecanismo de confianza, transparencia y adherencia en adultos mayores, no como una explicación técnica del algoritmo [12].

La Tabla 1 sintetiza los componentes críticos de la arquitectura y su función dentro del diseño doctoral.

Tabla 1. Componentes críticos de la arquitectura JITAI-MRT-XAI.

Componente	Función doctoral y evidencia asociada

Componente	Función doctoral y evidencia asociada
Captura y gobierno del dato	Señales mínimas, seudonimización, agregación por ventanas, control de calidad y patrón basal individual; especialmente importante por la variabilidad de sueño, HRV y actividad en vida real [8,9].
Estado contextual	Separación entre vulnerabilidad, receptividad y disponibilidad para evitar intervenciones inoportunas, reducir fatiga de notificaciones y proteger la aceptabilidad [3,4,7,18,19].
Motor de decisión MRT y política adaptativa	Comparación de reglas, disparadores y política contextual; aleatorización repetida, registro de no intervención y estimación de efectos proximales [2,17].
Interacción y explicabilidad (XAI)	Microintervenciones de 1-5 minutos con explicación breve "por qué ahora", orientada a comprensión y confianza del participante [12].
Analítica doctoral	Modelos para efectos causales proximales, subgrupos, receptividad, datos faltantes y robustez ante uso intermitente [10,11,17].

3.2 Intervenciones, decisión y explicabilidad

Las microintervenciones serán breves, de bajo riesgo y orientadas a bienestar general: respiración guiada, relajación breve, pausa activa, paseo corto, higiene del sueño, recordatorio de rutina o desconexión digital. El sistema comparará tres familias de decisión: reglas fijas transparentes, disparadores fisiológicos o conductuales y aprendizaje contextual mediante bandits contextuales.

El componente de inteligencia artificial explicable se diseñará con lenguaje claro y no técnico. Cada recomendación podrá incluir una explicación basada en dos o tres señales, por ejemplo: "te sugerimos una pausa de respiración porque dormiste menos de lo habitual y has marcado estrés alto", "Llevas varias horas con baja actividad; camina 3 minutos dentro de casa.", "tienes un HRV por debajo de tu línea base y reportaste cansancio, realiza…" entre otros. Esta explicación no debe interpretarse como diagnóstico, sino como apoyo transparente a una recomendación de bienestar.

4 Resultados obtenidos hasta el momento

Aunque la fase empírica principal todavía no se ha ejecutado, el trabajo doctoral ya cuenta con avances preparatorios relevantes. Estos avances no se presentan como resultados clínicos ni como evidencia de eficacia, sino como productos de investigación necesarios para llegar a un piloto sólido y defendible.

En primer lugar, se ha consolidado el marco doctoral a partir del Plan de Investigación partiendo de que el problema se centra en cómo ofrecer apoyo digital oportuno, poco intrusivo y comprensible para mejorar sueño y gestionar estrés en adultos mayores de 60 años. También se han definido las hipótesis principales en el Plan de Investigación aprobado, por ejemplo:

- La Hipótesis 1, plantea que una política adaptativa contextual puede superar a reglas fijas en efectos proximales sobre estrés y sueño

- La Hipótesis 2, propone que explicaciones breves del tipo “por qué ahora” pueden mejorar comprensión, confianza y adherencia.
- La Hipótesis 3, compara disparadores basados en vulnerabilidad fisiológica o conductual frente a disparadores aleatorios.

El objetivo general ya está formulado: diseñar, implementar y evaluar un sistema integrado basado en dispositivos inteligentes y autorreportes breves para apoyar la mejora del sueño y la gestión del estrés. Los objetivos específicos delimitan el modelo de intervención, el producto mínimo viable (Minimum Viable Product, MVP), el módulo de vulnerabilidad, la receptividad, la comparación de estrategias, la explicabilidad y la robustez metodológica.

Las variables principales también han quedado delimitadas. En sueño se priorizan duración, regularidad, eficiencia aproximada, despertares y calidad percibida. En estrés y bienestar se consideran estrés 0-10, estado de ánimo, energía o fatiga y utilidad percibida. En señales fisiológicas y conducta se contemplan frecuencia cardíaca, HRV frente al basal individual, pasos, actividad ligera y sedentarismo. En interacción se registrarán apertura, aceptación, rechazo, finalización, adherencia e intrusividad de las notificaciones.

La arquitectura conceptual del sistema se ha definido como una cadena de decisión trazable, orientada a transformar señales mínimas y autorreportes breves en recomendaciones oportunas y justificadas. El flujo parte de datos procedentes del dispositivo vestible y de respuestas breves del usuario, que son limpiados y agregados por ventanas temporales para estimar vulnerabilidad sueño-estrés y receptividad. A partir de ello, el motor de decisión determina si conviene intervenir, no intervenir o posponer la recomendación, incorporando una explicación breve y comprensible. Finalmente, el sistema registra la respuesta del participante y permite analizar los efectos proximales de cada decisión, lo que convierte la arquitectura en una base experimental para la tesis y no solo en un prototipo tecnológico.

Finalmente, el desarrollo se ha organizado en fases progresivas, comenzando con el co-diseño con adultos mayores y continuando con la construcción del producto mínimo viable. Posteriormente, se realizará un piloto de factibilidad para revisar usabilidad, calidad de datos, adherencia, privacidad e intrusividad, antes de avanzar al estudio principal mediante ensayos microaleatorizados (Micro-Randomized Trials, MRT). De forma complementaria, se ha preparado la documentación ética necesaria para la investigación con participantes humanos, incluyendo consentimiento informado, tratamiento de datos personales, confidencialidad y compromiso de no reidentificación. La estrategia de protección de datos se basa en recoger solo la información necesaria, trabajar con datos seudonimizados, separar las bases identificativas de las bases de investigación, aplicar cifrado y control de accesos, y difundir resultados únicamente de forma agregada o anonimizada.

5 Relevancia de la investigación propuesta

La relevancia científica se articula en tres niveles. En salud digital, el proyecto se focaliza en adultos mayores y en microintervenciones de baja fricción para sueño y

estrés, una combinación todavía poco explorada desde diseños similares. En IA aplicada, ofrece un caso real de decisión adaptativa bajo incertidumbre, con datos incompletos, usuarios heterogéneos y disponibilidad variable. En metodología experimental, utiliza ensayos microaleatorizados para estimar efectos proximales y aprender qué intervención funciona, cuándo y para qué perfil.

La relevancia humana también es central. El proyecto no pretende medicalizar la vida cotidiana ni sustituir la atención profesional. Su propósito es explorar cómo la IA puede integrarse de manera prudente, transparente y respetuosa en sistemas de apoyo cotidiano. En personas mayores, la utilidad percibida, el lenguaje de la recomendación, la posibilidad de pausar notificaciones y la confianza en el sistema pueden ser tan importantes como la precisión técnica del modelo.

Desde el punto de vista de transferencia, el resultado esperado no es solo un prototipo, sino un marco metodológico reutilizable para diseñar intervenciones adaptativas explicables, de baja intrusión y evaluables en vida real. Este marco podría ser útil para otros dominios de bienestar digital en los que sea necesario equilibrar personalización, seguridad, privacidad y aceptación por parte del usuario.

6 Información doctoral y planificación

Doctorando Velit Esteban Cortez Mendez con Directoras de tesis: Dra. Ana Belén Gil González y Dra. María Angélica González Arrieta, de la Universidad de Salamanca. La primera matrícula del doctorado corresponde a noviembre de 2025, dentro del curso académico 2025/2026. El doctorado se desarrolla a tiempo completo y la defensa se estima para el curso 2028/2029, condicionada al avance del trabajo empírico, las publicaciones y el calendario académico. Hasta el momento, los avances principales son la aprobación del plan de investigación, la revisión progresiva del estado del arte, la definición de hipótesis, variables y arquitectura conceptual, la propuesta de la documentación ética necesaria para las fases con participantes y la finalización de los diversos cursos transversales del programa de Doctorado. Se estima que contribuye en AEPIA a Inteligencia Artificial aplicada a salud digital, personalización, aprendizaje contextual, sistemas explicables y envejecimiento activo.

Tabla 2. Planificación doctoral resumida.

Periodo	Actividad principal	Resultado esperado
Año 1 (2025/2026)	Revisión crítica, definición de hipótesis, plan de investigación, documentación ética y diseño conceptual.	Plan aprobado, revisión rápida, arquitectura preliminar y propuesta doctoral consolidada.

Periodo	Actividad principal	Resultado esperado
Año 2 (2026/2027)	Co-diseño, producto mínimo viable, piloto de factibilidad, evaluación de usabilidad, privacidad, adherencia e intrusividad. Propuesta de la documentación de ética	Producto mínimo viable funcional, ajustes de variables, ventanas de decisión y reglas iniciales.
Año 3 (2027/2028)	Estudio principal mediante ensayos microaleatorizados (MRT), análisis de efectos proximales y comparación entre reglas y políticas adaptativas. Primeras publicaciones científicas Estancias en otros centros de investigación	Estimaciones de efecto, análisis de moderadores, artículo experimental. Consolidar estancias en otros centros de investigación de investigación
Año 4 y cierre (2028/2029)	Estancias en otros centros de investigación Robustez, publicaciones, redacción final y defensa.	Consolidar estancias en otros centros de investigación de investigación Tesis final, publicaciones y defensa estimada en 2028/2029

7 Consideraciones éticas y protección de datos

El proyecto se plantea como investigación de bienestar digital, no como diagnóstico ni tratamiento clínico. La participación será voluntaria y revocable. En fases con dispositivo vestible, los datos de sueño, actividad, frecuencia cardíaca y variabilidad de frecuencia cardíaca se tratarán como información sensible o relacionada con salud, por lo que se aplicará un nivel reforzado de protección.

Se aplicarán privacidad y seguridad por diseño: minimización, seudonimización, separación entre datos identificativos y datos de investigación, cifrado, control de accesos, registro de incidencias, retención limitada y supresión o anonimización cuando proceda, conforme al RGPD [15]. No se recogerán imágenes, vídeo, audio ni geolocalización exacta salvo justificación y autorización específica. En publicaciones se presentarán datos agregados o anonimizados, evitando la identificación directa o indirecta de participantes.

8 Conclusiones

Esta propuesta doctoral formula una pregunta aplicada y metodológicamente relevante: cómo decidir, de forma adaptativa, explicable y poco intrusiva, cuándo ofrecer una microintervención digital para apoyar sueño y estrés en adultos mayores. La combinación de co-diseño, dispositivos inteligentes, autorreportes breves, aprendizaje contextual y explicabilidad permite abordar el problema desde una perspectiva técnica y humana. El valor de la tesis no reside únicamente en construir un sistema, sino en generar evidencia sobre cómo personalizar intervenciones digitales de manera prudente, evaluable y respetuosa con las personas.

Agradecimientos

Este trabajo se desarrolla en el marco del Programa de Doctorado en Inteligencia Artificial Aplicada de la Universidad de Salamanca. Se agradece el acompañamiento académico recibido durante la definición de la propuesta doctoral y el marco formativo e investigador proporcionado por la Universidad de Salamanca, en especial a mis Directoras de tesis: Dra. Ana Belén Gil González y Dra. María Angélica González Arrieta. El trabajo no cuenta con financiación externa específica de momento.

Referencias

1. Nahum-Shani, I., Smith, S.N., Spring, B.J., Collins, L.M., Witkiewitz, K., Tewari, A., Murphy, S.A.: Just-in-time adaptive interventions (JITAIs) in mobile health: key components and design principles. Annals of Behavioral Medicine 52(6), 446-462 (2018).
2. Klasnja, P., Hekler, E.B., Shiffman, S., Boruvka, A., Almirall, D., Tewari, A., Murphy, S.A.: Microrandomized trials: an experimental design for developing just-in-time adaptive interventions. Health Psychology 34(Suppl.), 1220-1228 (2015).
3. Takeuchi, H., et al.: Just-in-time adaptive feedback for sleep in daily life: microrandomized trial evidence. Journal of Medical Internet Research (2024).
4. Schwerdtfeger, A.R., Tatschl, J.M., Rominger, C.: Effectiveness of just-in-time adaptive interventions for reducing stress and stabilizing cardiac autonomic function: microrandomized trials. Journal of Medical Internet Research 27, e69582 (2025).
5. Johnson, D., et al.: Just-in-time intervention for stress in daily life using smartphone and wearable data: phase 2 and experimental medicine approach. JMIR Research Protocols (2025).
6. Cheng, A., et al.: Digital JITAIs and micro-randomized trials for engagement in adults with chronic pain. JMIR Research Protocols (2025).
7. Firkin, C., et al.: Automated walking JITAI using Apple Watch and contextual receptivity: protocol study. JMIR Research Protocols (2026).
8. Pinge, A., Gad, M., Collet, S.: Detection and monitoring of stress using wearables: a systematic review. Frontiers in Computer Science 6, 1478851 (2024).
9. Gong, E.J., Bang, C.S., Lee, J.J., Baik, G.H.: Smart ring in clinical medicine: a systematic review. Biomimetics 10(12), 819 (2025).

10. Zhang, S., et al.: Missing data in microrandomized trials: challenges and opportunities. Behavior Research Methods (2025).
11. Svihrova, R., Dei Rossi, A., Marzorati, D., Tzovara, A., Faraci, F.D.: Designing digital health interventions with causal inference and multi-armed bandits: a review. Frontiers in Digital Health 7, 1435917 (2025).
12. Ribeiro, M.T., Singh, S., Guestrin, C.: Why should I trust you? Explaining the predictions of any classifier. In: KDD 2016, pp. 1135-1144. ACM (2016).
13. Buysse, D.J., Reynolds, C.F., Monk, T.H., Berman, S.R., Kupfer, D.J.: The Pittsburgh Sleep Quality Index: a new instrument for psychiatric practice and research. Psychiatry Research 28(2), 193-213 (1989).
14. Cohen, S., Kamarck, T., Mermelstein, R.: A global measure of perceived stress. Journal of Health and Social Behavior 24(4), 385-396 (1983).
15. European Parliament and Council: Regulation (EU) 2016/679, General Data Protection Regulation. Official Journal of the European Union (2016).
16. Nahum-Shani, I., Murphy, S.A.: Just-in-Time Adaptive Interventions: Where Are We Now and What Is Next? Annual Review of Psychology 77, 679-703 (2026). https://doi.org/10.1146/annurev-psych-121024-044244
17. Qian, T., Walton, A.E., Collins, L.M., Klasnja, P., Lanza, S.T., Nahum-Shani, I., Rabbi, M., Russell, M.A., Walton, M.A., Yoo, H., Murphy, S.A.: The microrandomized trial for developing digital interventions: experimental design and data analysis considerations. Psychological Methods 27(5), 874-894 (2022).
18. Mair, J.L., Hayes, L.D., Campbell, A.K., Buchan, D.S., Easton, C., Sculthorpe, N.: A personalized smartphone-delivered just-in-time adaptive intervention (JitaBug) to increase physical activity in older adults: mixed methods feasibility study. JMIR Formative Research 6(4), e34662 (2022).
19. Suh, J., Howe, E., Lewis, R., Hernandez, J., Saha, K., Althoff, T., Czerwinski, M.: Toward tailoring just-in-time adaptive intervention systems for workplace stress reduction: exploratory analysis of intervention implementation. JMIR Mental Health 11, e48974 (2024). https://doi.org/10.2196/48974
20. van Genugten, C.R., Thong, M.S.Y., van Ballegooijen, W., Kleiboer, A.M., Spruijt-Metz, D., Smit, A.C., Sprangers, M.A.G., Terhorst, Y., Riper, H.: Beyond the current state of just-in-time adaptive interventions in mental health: a qualitative systematic review. Frontiers in Digital Health 7, 1460167 (2025). https://doi.org/10.3389/fdgth.2025.1460167