

Posicionamiento en interiores utilizando Bluetooth para la detección y el análisis de interacciones sociales

Indoor positioning using Bluetooth for the detection and analysis of social interactions

⁽¹⁾ José J. González-García ^[0009-0000-2651-0621], ⁽¹⁾ Luis Zhinin-Vera ^[0000-0002-6505-614X], ^(1,2) Víctor López-Jaquero ^[0000-0002-0902-9681], ^(1,2) Francisco Montero ^[0000-0002-0902-9681], ^(1,2) Pascual González ^[0000-0003-3549-5712]

⁽¹⁾ Albacete Research Institute of Informatics, University of Castilla-La Mancha, C/ Investigación, 2, Albacete, 02071, Castilla-La Mancha, Spain, josejesus.gonzalez@uclm.es

⁽²⁾ LoUISE Research Group, Computing Systems Department, Campus Universitario, s/n, Albacete, 02071, Castilla-La Mancha, Spain

Resumen. Las interacciones sociales son esenciales para la cohesión social y el bienestar individual. Aunque la transformación digital ha permitido analizar grandes volúmenes de datos, aún faltan herramientas eficaces para estudiar estas interacciones de forma natural. Este artículo presenta un sistema capaz de medir tanto la cantidad como la calidad de las interacciones en diferentes contextos, usando la proxémica y la psicología cognitiva. Mediante el uso de la tecnología Bluetooth de los smartwatches, ha sido posible estimar la posición y dirección relativa de los dispositivos, sin necesidad de balizas, con el fin de procesar y comprender las interacciones entre las personas en diferentes contextos sociales. La herramienta se ha implementado en un sistema de gestión de conferencias científicas. Su objetivo es mejorar la experiencia de los participantes a través de la interacción entre el smartwatch y el usuario, lo que permite al organizador comprender los intereses de cada participante y entender la complejidad de las interacciones y la organización de su evento. Por último, se llevó a cabo una evaluación con sociólogos y usuarios potenciales, en la que se valoró la usabilidad y su opinión sobre las diferentes funciones de interacción y medición.

Palabras clave: Smartwatch, Interacción social, Posicionamiento en interiores, Posicionamiento Bluetooth.

Abstract. Social interactions are essential for social cohesion and individual well-being. Although the digital transformation has made it possible to analyze large volumes of data, there is still a lack of effective tools for studying these interactions

in a natural setting. This article presents a system capable of measuring both the quantity and quality of interactions in different contexts, using proxemics and cognitive psychology. By utilizing Bluetooth technology in smartwatches, it has been possible to estimate the relative position and direction of the devices—without the need for beacons—in order to process and understand interactions between people in different social contexts. The tool has been implemented in a scientific conference management system. Its goal is to enhance the participants' experience through interaction between the smartwatch and the user, enabling the organizer to identify each participant's interests and understand the complexity of interactions and the organization of their event. Finally, an evaluation was conducted with sociologists and potential users, in which usability was assessed and their opinions on the various interaction and measurement features were gathered.

Keywords: Smartwatch, Social interaction, Indoor positioning, Bluetooth positioning.

1. INTRODUCCIÓN

Las interacciones sociales constituyen un aspecto fundamental de las relaciones humanas, especialmente en lo que respecta a la cohesión social y al bienestar individual (Berkman et al., 2000; House et al., 1988; Macdonald et al., 2021). A lo largo de los años, las interacciones sociales se han estudiado ampliamente desde múltiples perspectivas teóricas y empíricas, revelando su papel central en la comunicación, la cooperación y el desarrollo de vínculos emocionales (Baumeister & Leary, 1995; Goffman, 1956; Helliwell & Putnam, 2004; House et al., 1988; Teubner & Stockhinger, 2020). Sin embargo, existen pocas herramientas, estándares y métricas que permitan estudiarlas de forma natural. Esta carencia se hace aún más evidente en el contexto de la interacción persona-ordenador, un campo que ha adquirido una importancia considerable debido a la creciente digitalización y que puede funcionar como motor para orientar la medición de las interacciones, ya que las métricas tradicionales, como la frecuencia de los mensajes o el tiempo de respuesta, ofrecen una visión limitada (Teubner & Stockhinger, 2020).

Es por esto por lo que comprender adecuadamente el contexto social posee especial importancia en entornos como las aulas escolares, oficinas y los grandes eventos sociales, donde las interacciones son demasiado numerosas y complejas como para estudiarlas de forma individual (Macdonald et al., 2021). Comprender estas interacciones es esencial, ya que dichos espacios van más allá del simple intercambio de información: fomentan el sentido de pertenencia, el apoyo y la colaboración (Blinkoff et al., 2023; Macdonald et al., 2021; Sciortino, 2018). Por ejemplo, en entornos escolares, las interacciones sociales poseen una influencia particular en la salud mental, la autoestima y las funciones ejecutivas de los estudiantes (Umberson & Montez, 2010). Por esta razón, no basta solo con que los gestores, profesores o expertos midan únicamente la asistencia o la participación, sino también se ha de medir, de manera óptima, la calidad de las interacciones y vínculos sociales, idealmente a través de sistemas no invasivos que protejan el anonimato y la seguridad de los datos.

Por lo tanto, en este artículo se presenta una herramienta de detección e interpretación de interacciones sociales. Esta herramienta permite a un experto o al administrador de un evento

evaluar la calidad, la duración y el contexto de las interacciones sociales en un entorno social a gran escala. Este sistema permite a dichos mediadores, a los participantes y a todas las personas involucradas en estas interacciones sociales comprender su entorno, creando un espacio óptimo para una mejor convivencia. A efectos de este artículo, la herramienta se enmarca como un sistema diseñado para funcionar dentro de un contexto operativo específico: las conferencias científicas. Así, la herramienta permite a los gestores de conferencias identificar tendencias y áreas populares, recopilando información importante sobre los participantes, lo que más o menos les gustó, los lugares o salas de conferencias más concurridos y la calidad de las interacciones medidas. No obstante, como se ha mencionado anteriormente, el sistema es aplicable a otros escenarios relevantes, como los entornos escolares y laborales. El uso de sistemas embebidos, para entornos como patios y escuelas, puede permitir entender estas interacciones, detectando comportamientos más complejos y negativos, como el bullying, a través de teorías como la Teoría de la Mente (Tirapu-Ustárrroz et al., 2007).

2. PERSPECTIVAS TEÓRICAS SOBRE LA INTERACCIÓN SOCIAL

2.1. El concepto de interacción social

Existen diversos conceptos e interpretaciones sobre el significado y la importancia de las relaciones sociales, que resultan necesarios para crear una herramienta que ayude a comprender e interpretar dichas interacciones. Es fundamental comprender que las interacciones sociales están influenciadas, no solo por las personas implicadas, sino también por su cultura, su contexto social y sus intenciones (Goffman, 1956, 1967). Según la Asociación Americana de Psicología (APA), el comportamiento social es una acción que se ve influida, directa o indirectamente, por la presencia real, imaginada, esperada o implícita de otras personas, incluso en contextos de desarrollo de la cooperación, la competencia y la influencia del estatus, particularmente en la dinámica del comportamiento grupal, el liderazgo y la conformidad (American-Psycological-Association, 2023a, 2023b). Así, desde el punto de vista sociológico, las interacciones sociales pueden definirse como un conjunto de influencias recíprocas que se desencadenan en cualquier situación en la que dos o más individuos se encuentran en proximidad física inmediata (Goffman, 1956).

2.2. Interpretación de la psicología cognitiva

2.2.1. Identificación de las interacciones sociales

Teniendo en cuenta los conceptos anteriores, con el objetivo de entender cómo se estructuran las interacciones sociales, ya que se pretende que el sistema entienda cómo las identifica nuestro cerebro (Pfeiffer et al., 2013). Es por esto por lo que el sistema está basado en los conceptos propuestos por la psicología cognitiva, campo fundamental para mejorar las capacidades de la interacción persona-ordenador, ya que permite comprender los diferentes componentes físicos de la interacción social, con especial referencia a estudios de gran relevancia como la "Teoría de la mente" (Tirapu-Ustárrroz et al., 2007). La psicología cognitiva divide las interacciones sociales en tres primitivas sociales, fundamentales para el desarrollo del sistema, y han de ser identificadas en

tiempo real. Estas primitivas son señales visuales que ayudan al sistema visual humano a inferir si dos o más agentes están interactuando (McMahon & Isik, 2023):

1. **La distancia a la que se produce la interacción:** La distancia a la que se encuentran las personas dentro de esa interacción.
2. **La dirección de la mirada:** La dirección en la que miran y se orientan durante una interacción.
3. **Movimiento contingente:** Representa la relación interactiva entre los participantes, dependiendo de cómo el movimiento de un participante depende del de otro. Por ejemplo, caminar juntos hacia un punto.

Además, se categorizan distintos componentes de las interacciones sociales, que permiten entender qué tipo de interacción está ocurriendo y la relación social entre los agentes. Estos componentes son tres, y permiten a un sistema identificar estas interacciones de manera más natural (McMahon & Isik, 2023):

1. **Interacción física:** Se refiere a las interacciones físicas directas, como empujar o tocar, que definen el contexto de una interacción (amistad, conflicto, etc.).
2. **Interacción comunicativa:** Interacciones que consisten en intercambios de información, como el habla, los gestos o las expresiones, que son esenciales para transmitir mensajes y emociones.
3. **Compatibilidad de objetivos:** Se refiere a las intenciones subyacentes, que pueden centrarse en cooperar con la otra persona o en obstaculizarla.

2.2.2. La teoría de la proxémica

Por lo tanto, el sistema debe ser capaz de comprender y clasificar estas interacciones sociales identificando sus elementos básicos subyacentes. Por este motivo, es esencial comprender la proxémica. La proxémica se refiere al estudio de cómo las personas utilizan el espacio en sus relaciones con los demás (RAE, 2024). Este campo de estudio, que se enmarca en el ámbito de la sociología, examina las relaciones que las personas establecen con los demás. Así, es posible analizar la naturaleza de la interacción y la relación que las personas tienen con aquellos con quienes interactúan, en función de las distancias que mantienen durante las interacciones sociales (Hall, 1990). Por lo tanto, cuando se producen interacciones, uno de los elementos más significativos que hay que identificar es la distancia que mantienen los individuos en éstas y cómo estas varían según la cultura y el contexto (Hall, 1990). Como se observa en la Figura 1, los diferentes espacios o zonas alrededor de un individuo están definidos psicológicamente y pueden cambiar en función del tipo de encuentro y de la relación que mantengan los participantes (Hall, 1990). En un contexto cultural de Europa Occidental, el cual ha sido utilizado para el presente sistema, las distancias pueden definirse de la siguiente manera:

- **Distancia íntima:** Esta distancia oscila entre el contacto físico y unos cuarenta o cuarenta y cinco centímetros. Se reserva para interacciones cercanas o personales, como abrazos, susurros o confidencias.
- **Distancia personal informal:** De 45 centímetros a 1,2 metros. Esta distancia se asocia a conversaciones con amigos y conocidos, en las que se mantiene la cercanía, pero con un cierto espacio personal.

- **Distancia social-consultiva:** De un metro veinte centímetros a tres metros sesenta centímetros. Esta distancia de interacción se da en situaciones menos íntimas, como reuniones de trabajo o con conocidos con los que no se tiene mucha confianza. Reservada para una mayor formalidad, es una distancia que no "invade" el espacio personal de la persona.
- **Distancia pública:** A partir de tres metros y sesenta centímetros. Esta distancia se utiliza en situaciones formales o interacciones en las que participan muchas personas. Estas interacciones suelen ser impersonales y formales, adecuadas para discursos o charlas en grupos grandes.

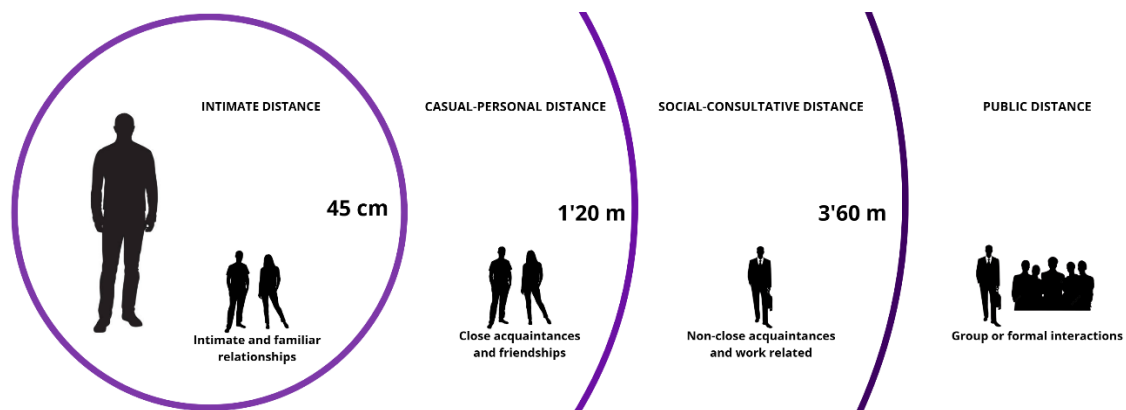


Figura 1. Interacciones de la teoría de la proxémica basadas en las distancias.

3. SISTEMA DE DETECCIÓN DE INTERACCIONES

3.1. Objetivos y definición del sistema

El sistema ha sido diseñado para identificar las interacciones sociales en eventos con gran afluencia de personas, de manera que este clasifica la calidad, duración y evolución de las interacciones mediante la aplicación de los conceptos descritos en la Sección 2.2. El objetivo principal de este proyecto radica, sobre todo, en la necesidad de contar con una herramienta que permita estudiar las interacciones y relaciones que tienen lugar en diferentes entornos de una forma mínimamente invasiva. Para ello, se hace uso de los sensores Bluetooth que poseen los smartwatches, para determinar y mostrar gráficamente la posición de los usuarios en espacios de interior sin necesidad de utilizar balizas. Los datos recopilados se procesan en un ecosistema de microservicios y se envían a una aplicación web, donde se representan las posiciones y las interacciones en tiempo real a través de un mapa y diversos gráficos. El uso de smartwatch permite no solo aprovechar los sensores avanzados disponibles en los dispositivos comerciales, sino también llevar a cabo un análisis exhaustivo de forma no intrusiva, reduciendo así la incomodidad y preservando la naturalidad de los comportamientos de los participantes (Arakawa, 2018; Fuller et al., 2020). De este modo, al realizar una observación indirecta, se interfiere lo menos posible en el comportamiento de los usuarios, obteniendo así resultados lo más realistas posible.

3.2. Cálculo de la posición interior

La parte fundamental del sistema es el cálculo de las distancias entre las personas y su posicionamiento en un espacio relativo. El sistema permite el posicionamiento en interiores de dispositivos smartwatch, localizando a los usuarios sin necesidad de balizas. Para poder calibrar correctamente el sistema, es esencial tomar un dispositivo como centro relativo a los demás dispositivos. Para ello, se establece uno de los dispositivos como punto de partida, con coordenadas [0,0], y el resto de los dispositivos se posicionan en relación con él. La posición del dispositivo se calcula utilizando la intensidad de la señal (RSSI) Bluetooth de los dispositivos. El sistema infiere, a través de la información obtenida de todos los dispositivos, la distancia media que hay entre ellos para, posteriormente, obtener una matriz de distancias y unas coordenadas en un entorno relativo.

Hay que tener en cuenta que, al tratarse de dispositivos con señales Bluetooth de baja intensidad (BLE), existen problemas de interferencias y potencia insuficiente. Como solución, el sistema utiliza valores promedios y filtros para eliminar el ruido. Durante un breve periodo de tiempo, se recogen los valores de intensidad de señal de cada dispositivo para calcular la media de dichos valores. Mediante la siguiente fórmula el sistema obtiene un valor que indica, a partir de la intensidad de la señal en dBm, la distancia en metros (Wajgi et al., 2024). La fórmula es:

$$10^{\frac{RSSIo - RSSIm}{10n}}$$

Donde:

- **RSSIo** es la intensidad de señal calibrada, medida a un metro de distancia.
- **RSSIm** es la media de los valores de RSSI obtenidos durante un breve periodo de tiempo.
- **n** es una variable de "entorno", que se ajusta en función del número de interferencias, el número de señales en el entorno y el ruido en la ubicación donde se llevará a cabo la sesión.

El resultado es una matriz de distancias. Sin embargo, el resultado no es una matriz simétrica, debido al ruido en las lecturas de intensidad de cada dispositivo, por lo que no se puede utilizar directamente para localizarlos en el espacio, y se requiere cierto procesamiento para sintetizarla. Este proceso se realiza en la capa de microservicios, durante la fase de procesamiento:

1. Por cada dispositivo, a partir de las matrices de distancia obtenidas en las iteraciones anteriores y la más reciente calculada, se obtienen las últimas cuatro matrices de distancia.
2. Se calcula una matriz media a partir de las distancias de todos los dispositivos. Para ajustar y eliminar ruido, se pondera con las últimas cuatro matrices calculadas, asignado ponderaciones a estas, de modo que su peso se reduce en función de su fecha y hora de creación (más reciente, más peso en la ponderación).
3. La matriz obtenida se simetriza, sumándola a su transpuesta y dividiendo el resultado entre dos.
4. Sus posiciones se calculan utilizando el algoritmo MDS (Algoritmo de Escalamiento Multidimensional) (Scikit-Learn, 2024), que permite calcular la similitud o disimilitud de los datos en un espacio de menor dimensión. Esta técnica permite posicionar los dispositivos en un espacio relativo a uno de ellos de forma clara y eficiente, como se muestra en la Figura 2.
5. Se calcula una matriz final de distancias ponderada, que se envía directamente a evaluar para identificar interacciones sociales y, si se ha configurado, para el sistema de "intereses" y cercanía.

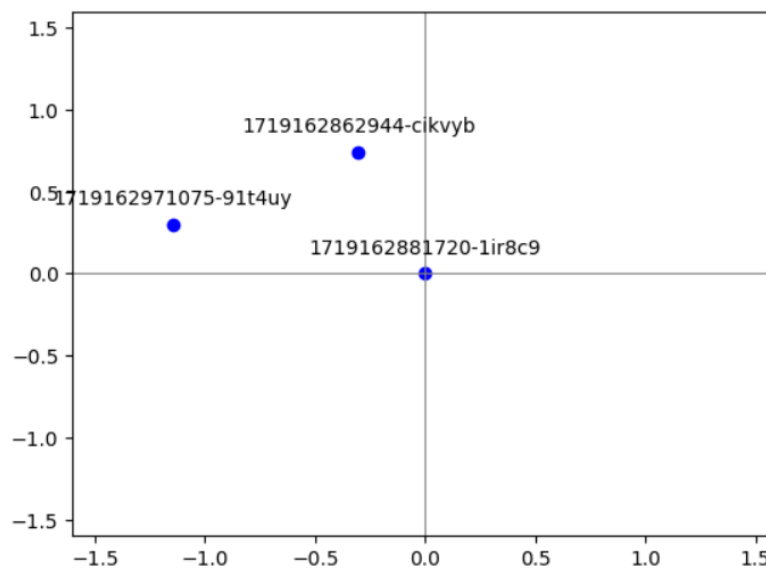


Figura 2. Resultado del posicionamiento interior debido al procesamiento.

3.3. Detección de interacciones en tiempo real

El sistema utiliza la distancia media entre dos usuarios para determinar la naturaleza de la interacción entre ambos participantes durante un periodo determinado. El uso de valores medios es importante a la hora de evaluar una interacción, ya que la duración de la misma también es relevante, especialmente en contextos concurridos y dinámicos, como las conferencias científicas. Tal y como se describe en la Sección 2.2, la clasificación de las interacciones sociales varía principalmente en función de la distancia entre los participantes en una interacción. No obstante, para que una interacción se clasifique según la definición de la proxémica, también debe tener una duración específica. Por lo tanto, el sistema debe ser también capaz de especificar si cuando dos participantes se encuentran muy próximos en un momento concreto, esto podría significar que es una interacción, un encuentro fortuito o si pudiese tratarse de una colisión fuera de un acercamiento social real.

Es por esto por lo que el sistema calcula la media de las matrices de distancia obtenidas previamente, calculadas durante la fase de procesamiento. De este modo, solo se conservan aquellas interacciones que se encuentran dentro de los rangos propuestos por la teoría de la proxémica. Esto permite al sistema clasificar qué agente interactúa, con quién y cómo. También realiza un seguimiento de la duración de estas interacciones basándose en las ventanas de tiempo definidas y el momento en el que ocurre el análisis. De este modo, el administrador o responsable puede comprender la relación entre los participantes, además de comprender cómo estas interacciones pueden mejorar o cambiar con el tiempo y la naturaleza en las que se producen. Todo este procesamiento ocurre en tiempo real, a través de la integración efectiva de los servicios de llamadas de red, la comunicación por sockets con los smartwatches y las lecturas de memoria tanto en Redis como en InfluxDB. Como resultado, todos los valores recopilados se sincronizan en tiempo real y, opcionalmente, las sesiones pueden guardarse para su posterior análisis.

Además, aparte de la posición, se calculan tanto el movimiento como la orientación del dispositivo utilizando los sensores de acelerómetro, giroscopio y la brújula. Para que estos se configuren correctamente y se adapten al entorno y a la orientación del mapa, es necesario realizar un paso adicional en la sincronización del dispositivo. Al sincronizar el dispositivo, este debe estar orientado hacia el norte, en las mismas condiciones y posición que el primer dispositivo configurado. De este modo, el algoritmo MDS puede calibrarse mejor para mejorar la estabilidad y la precisión, alineando el mapa relativo con la orientación del mundo real. Las direcciones a las que mira el usuario se representan gráficamente, de modo que los expertos puedan evaluar la naturaleza de una interacción. En términos generales, el sistema proporciona al administrador o al experto una representación visual de la ubicación de los distintos dispositivos, junto con información detallada de cada uno de ellos, describiendo los tipos de interacción identificados que se están produciendo en tiempo real.

3.4. Caso de uso: Medición de las interacciones sociales en conferencias

Con el fin de evaluar y analizar la eficacia del sistema propuesto, este se integró en una plataforma de gestión de congresos científicos. En este contexto, convergen distintos perfiles de usuarios, principalmente organizadores y participantes, cuyas interacciones permiten estudiar la dinámica social generada durante el evento. El objetivo principal es comprender la naturaleza de las relaciones e interacciones que tienen lugar, así como el ambiente social que se crea en el congreso o la conferencia, y determinar en qué medida se cumple el propósito fundamental del sistema: facilitar la interacción entre los participantes.

De forma complementaria, desde la perspectiva de los participantes, el interés principal radica en reunirse, establecer contactos e interactuar con personas que comparten intereses o líneas de investigación similares. La elección de este contexto de aplicación no fue arbitraria, sino que se llevó a cabo tras un análisis detallado de su idoneidad, considerando diversas cuestiones previamente identificadas que podrían verse favorecidas mediante el uso de un sistema de detección de interacciones sociales, tales como:

- **Networking ineficaz:** En muchas conferencias, los participantes suelen tener dificultades para identificar y conocer a otros asistentes con los mismos intereses u objetivos de investigación similares.
- **Falta de información para los usuarios:** Debido a la gran cantidad de presentaciones, pósteres y sesiones que hay en una conferencia, los asistentes suelen sentirse abrumados a la hora de elegir a cuáles asistir.
- **Falta de seguimiento de la colaboración:** Los participantes pueden perderse información o actualizaciones durante la conferencia debido a la falta de un medio para obtener información en tiempo real.
- **Dificultad para identificar tendencias y áreas populares:** Los organizadores y los investigadores pueden tener dificultades para identificar las presentaciones o los temas de mayor interés para los participantes, lo que dificulta la organización tanto de la conferencia actual como de futuras conferencias en torno a los temas más populares.
- **Evaluación de la cantidad y la calidad de las interacciones:** Para los organizadores, resulta difícil medir el número de interacciones reales que tienen lugar en este tipo de eventos, así

como la calidad y la relevancia de las distintas interacciones entre los participantes. Este tipo de información puede ayudar a los organizadores a determinar si las estrategias que han definido para fomentar las interacciones entre los participantes están funcionando o si es necesario ajustarlas para promover dichas interacciones.

- **Una forma de recopilar y analizar datos sobre los asistentes:** Para los organizadores, es importante recopilar datos clave sobre los participantes, incluyendo lo que les gustó en mayor o menor medida, a qué actividades acudieron más o menos, y con qué frecuencia.

Así, dentro del sistema, se han integrado diferentes funcionalidades que utilizan la potencia de la herramienta de detección de interacciones. Por un lado, el sistema cuenta con una aplicación web en la que el administrador de la conferencia y/o el equipo organizador pueden configurar sus eventos. Para cada evento, pueden crear y nombrar los distintos temas que se tratarán durante la conferencia. A cada tema se le puede asignar un nivel de relevancia, en función de si se tratan en ese evento y en qué medida.

Los administradores también pueden configurar el sistema de notificaciones del smartwatch para informar a los participantes de eventos que cubren temas que puedan ser del interés del usuario, así como para avisar a un participante de la presencia de otros participantes cercanos con intereses o temas de trabajo similares, tal y como se muestra en la Figura 3. El coordinador puede configurar: (i) la distancia máxima a la que puede estar otro usuario para que se considere que está cerca; (ii) la similitud (obtenida a través de la similitud coseno) con respecto a otros usuarios; y (iii) el mensaje concreto que se le mostrará al participante. Por ejemplo, un administrador puede decidir mostrar un mensaje que indique que hay personas con intereses similares a los del participante cuando esa persona se encuentre en un radio de 3 metros y comparta intereses similares en un 60% o más.

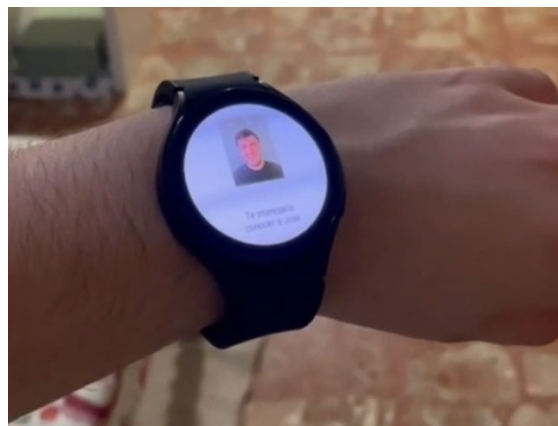


Figura 3. Interfaz smartwatch notificando al participante de otro usuario con intereses similares.

Durante la conferencia, los participantes portan un smartwatch durante la duración de esta. Este smartwatch se conectará a la sesión mediante un token único generado al crear la sesión, y debe ser configurado por un administrador de la conferencia, donde introduce información relevante del participante (id, nombre, fecha de exposición, etc.). Esta información no será visible en el mapa de interacciones, ya que los dispositivos se anonimizan de cara a estudiar las interacciones en el evento. Antes de que comience una sesión, los participantes valoran su nivel de interés en los temas que se tratarán en la conferencia en una escala del uno al cinco (Figura 4).

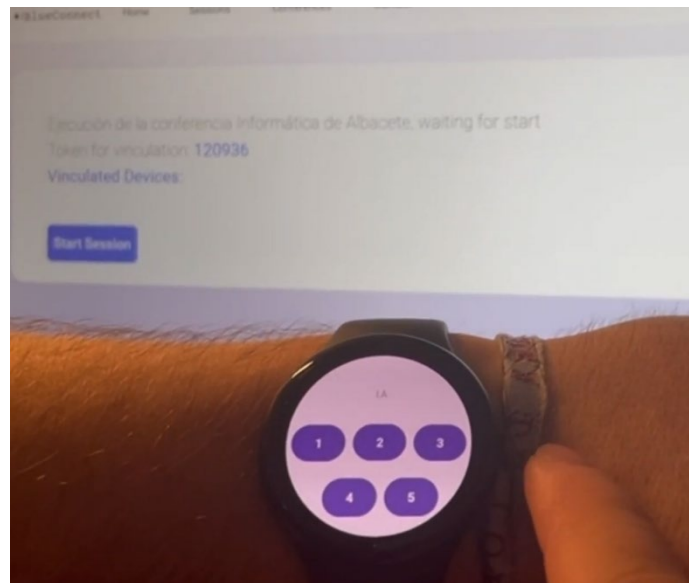


Figura 4. Interfaz para establecer el nivel de interés en los temas de la conferencia.

Esta escala se emplea dentro del sistema de gestión de *intereses* descrito anteriormente. Dicha funcionalidad tiene como objetivo recopilar información relevante de los usuarios con el fin de recomendar eventos y facilitar el contacto entre participantes que comparten intereses y objetivos similares, fomentando así el *networking*. Para ello, tal como se ha explicado previamente, el administrador emplea la plataforma web para definir los temas que se abordarán durante la conferencia (Figura 5), así como para configurar los distintos eventos que tendrán lugar y sus correspondientes horarios de inicio. Con el propósito de calcular el grado de similitud entre los intereses de los participantes y los eventos disponibles, se utilizó la medida de similitud coseno. Esta técnica matemática permite cuantificar la similitud entre dos vectores en un espacio multidimensional mediante el cálculo del coseno del ángulo que forman entre sí. La similitud coseno resulta especialmente adecuada en este contexto, ya que permite capturar eficazmente relaciones de afinidad independientemente de la magnitud de los vectores y requiere un bajo coste computacional.

En el caso de los eventos (como charlas, talleres o sesiones de pósteres), cada 10 minutos se evalúa la similitud temática entre los eventos programados para comenzar en los siguientes 15 minutos, y se notifica a los usuarios cuando se detectan intereses coincidentes. Para fomentar el *networking*, al inicio de la sesión se calcula la similitud de cada participante con respecto a los demás, y estos datos se almacenan en una matriz. Cada dos minutos, el sistema calcula una puntuación media de proximidad para cada participante y comprueba si hay algún usuario dentro del alcance del dispositivo cuya puntuación de similitud sea mayor o igual al umbral establecido por el administrador. Si es así, como se ha mencionado anteriormente, el sistema envía un mensaje a través del servicio adecuado para notificar a ambos participantes de su proximidad (Figura 3).

Conference events planner

Event time and day	Event name	Similarity	Themes	Delete
28/06/2024 18:55	Convención sobre IA	60	I.A. 5 Gemelos digitales 2 Hardware 4 Machine Learning 4	Remove event

Figura 5. Configuración de los intereses de la conferencia.

En cuanto a la protección de datos y privacidad del usuario, es importante destacar que el sistema incorpora mecanismos de privacidad orientados a minimizar la exposición de información personal durante la visualización y gestión de la actividad. En concreto, el mapa gráfico accesible para el administrador no muestra identificadores directos ni datos personales sensibles, como nombres, imágenes faciales u otros elementos que permitan identificar conductas específicas con un usuario. Estos datos son tratados exclusivamente por el servidor interno, y solo son utilizados para la similitud entre usuarios y notificar su cercanía. Sin embargo, al administrador solo se le proporciona información general sobre los intereses, las categorías y las interacciones de los usuarios.

4. EVALUACIÓN

4.1. Participantes y diseño experimental

Debido a las dificultades para evaluar el sistema en un entorno real, se planteó un estudio exploratorio cuyo objetivo fue recoger opiniones, observaciones y valoraciones preliminares sobre la propuesta desarrollada. Para ello, se contó con dos perfiles de participantes considerados relevantes para la evaluación del sistema, por un lado, estudiantes de doctorado que comienzan a asistir a congresos y, por otro, expertos en sociología. En conjunto, la muestra estuvo formada por 9 personas.

El primer perfil estuvo formado por estudiantes de doctorado que comenzaban a participar en congresos académicos, con una edad media aproximada de 25 años. Su inclusión resultó relevante por su cercanía al contexto de uso previsto para el sistema.

El segundo perfil estuvo compuesto por expertos en sociología, incluyendo sociólogos y estudiantes de sociología, con una edad media aproximada de 24 años. Algunos de ellos habían asistido previamente a conferencias del área, lo que permitió obtener valoraciones más fundamentadas sobre la adecuación y pertinencia del sistema.

La selección de la muestra se llevó a cabo mediante un procedimiento de muestreo en cadena. Tanto los expertos como los participantes difundieron la información del estudio por correo electrónico entre personas con perfiles similares, con el fin de ampliar la participación (Parker et al., 2019). Así pues, las aportaciones recogidas a través de este proceso resultaron relevantes para valorar la usabilidad del sistema y su adecuación a las necesidades y requerimientos de los distintos perfiles.

El estudio se planteó como una evaluación basada en cuestionarios web, lo que permitió recoger datos de forma remota sin necesidad de recrear un entorno real de congreso. Para ello, se utilizó una

base común orientada a evaluar la usabilidad percibida del sistema, complementada con cuestionarios específicos adaptados al perfil de cada participante.

4.2. Procedimiento

La evaluación se realizó mediante un cuestionario web, por lo que los participantes únicamente necesitaban disponer de un dispositivo con acceso a internet que les permitiera visualizar un vídeo y completar el formulario, como un ordenador o un teléfono móvil. El cuestionario fue desarrollado con Microsoft Forms, mientras que el análisis posterior de los datos se llevó a cabo mediante las herramientas de visualización ofrecidas por la propia plataforma y mediante Microsoft Excel.

El procedimiento de evaluación comenzaba con una presentación general de la aplicación, en la que se explicaban su finalidad, sus características principales y el equipo responsable de su desarrollo. A continuación, los participantes debían revisar una declaración de consentimiento informado. En esta declaración se especificaba el carácter anónimo de las respuestas, así como el uso previsto de los datos recopilados. Solo tras aceptar dicho consentimiento se podía continuar con el proceso.

Una vez completada esta fase inicial, los participantes visualizaban un vídeo explicativo en el que se mostraban las características y los objetivos de la aplicación. Este material servía para proporcionar un contexto común a todas las personas participantes antes de responder al cuestionario, de modo que sus valoraciones pudieran basarse en una comprensión mínima compartida del funcionamiento y propósito del sistema.

Para medir la usabilidad percibida se utilizó el cuestionario UMUX-Lite, una herramienta breve compuesta por dos ítems (Lewis et al., 2015). Uno orientado a valorar la facilidad de uso de la aplicación y otro dirigido a evaluar en qué medida sus características satisfacen las necesidades del usuario. A partir de las respuestas obtenidas, se calculó una puntuación global de usabilidad mediante una media ponderada de ambas preguntas. Posteriormente, este resultado se transformó a una escala equivalente al SUS, lo que permitió expresar la usabilidad en un rango comprendido entre 1 ("*Peor usabilidad posible*") y 100 ("*Mejor usabilidad posible*") (Jim Lewis, 2021).

Además de esta medida general de usabilidad, se elaboraron dos cuestionarios específicos, uno para cada perfil participante. En el caso de los expertos en sociología, el cuestionario se centró en evaluar el uso que hace el sistema de los datos, la idoneidad del reloj inteligente como herramienta de apoyo y la calidad con la que se aplican los fundamentos teóricos en la propuesta. En el caso de los estudiantes de doctorado, las preguntas se orientaron a valorar si las funcionalidades del sistema resultarían útiles y accesibles en un contexto de congreso, si podrían contribuir a mejorar la experiencia de asistencia y si el reloj inteligente sería un dispositivo cómodo de utilizar en este tipo de situaciones.

En todos los cuestionarios se empleó una escala de Likert de 1 a 7 para valorar cada afirmación. Esta escala permitía recoger el grado de acuerdo de los participantes, desde 1, correspondiente a "totalmente en desacuerdo", hasta 7, correspondiente a "totalmente de acuerdo". Junto con las preguntas cerradas, también se incorporaron preguntas de respuesta abierta, con el fin de recoger comentarios más libres y matizados sobre la propuesta. Esto permitió complementar los resultados cuantitativos con observaciones cualitativas útiles para interpretar mejor la percepción de los participantes y detectar posibles mejoras del sistema.

4.3. Resultados

4.3.1. UMUX-Lite

En general, de acuerdo con los criterios de este cuestionario y con la puntuación obtenida, presentada en la Tabla 1, la herramienta se sitúa en el rango de “muy buena usabilidad”. Este resultado indica una percepción positiva por parte de los usuarios, tanto en relación con su facilidad de uso como con su capacidad para satisfacer sus necesidades (Jim Lewis, 2021).

Tabla 1. Resultados UMUX-Lite

Categoría	Participantes	Expertos
Pregunta primera	6.6	5.5
Pregunta segunda	6.6	5.5
Puntuación SUS	93.33	75
Categoría SUS	Excelente	Buena

4.3.2. Cuestionario de los participantes

Las opiniones de los participantes fueron, en general, positivas. Desde su perspectiva como potenciales usuarios en el contexto de conferencias, valoraron favorablemente la utilidad de la herramienta para facilitar el establecimiento de contactos y mejorar la organización de su asistencia a este tipo de eventos. Al mismo tiempo, sus respuestas permitieron identificar varias líneas de mejora orientadas a optimizar la aplicación a partir de sus necesidades y preferencias de uso.

Entre las sugerencias recogidas, destacó la conveniencia de ampliar el acceso a la herramienta más allá del reloj inteligente. En este sentido, algunos participantes señalaron que una mayor compatibilidad con otros dispositivos podría favorecer un uso más extendido. Esta idea aparece reflejada en comentarios como: *“Para que la herramienta se utilice más ampliamente, sería útil ampliar la posibilidad de usarla no solo en un reloj inteligente, sino también en otros dispositivos”* y *“Poder introducir datos desde un teléfono móvil sería más cómodo para el usuario”*. Estas aportaciones apuntan a la necesidad de mejorar la accesibilidad y flexibilidad del sistema mediante su integración con otros dispositivos, especialmente el teléfono móvil.

Además, la funcionalidad relacionada con los intereses fue valorada de forma especialmente positiva. Los participantes indicaron que esta característica podría contribuir a una mejor organización de la agenda durante las conferencias, al facilitar recomendaciones de charlas y eventos ajustadas a sus preferencias. Esta percepción se refleja en comentarios como: *“Esta herramienta es útil para organizar mejor mi agenda al recomendarme charlas y eventos de mi interés”*. En relación con este ítem, el 60 % de las respuestas otorgó la puntuación máxima de 7, el 20 % asignó un 6 y el 20 % restante un 5, lo que muestra una valoración claramente favorable de esta funcionalidad.

4.3.3. Cuestionario de los expertos

Las opiniones de los expertos fueron, en general, muy positivas. Consideraron que la teoría de la proxémica se aplica de forma adecuada a la finalidad del sistema, cumpliendo así el objetivo de fomentar la interacción entre los asistentes. Asimismo, señalaron que la propuesta constituye un primer paso relevante hacia una herramienta capaz de identificar y analizar la complejidad de las interacciones sociales en conferencias y otros eventos.

Entre los aspectos mejor valorados, destacó la percepción de que el sistema aborda de manera adecuada cuestiones relacionadas con la privacidad y el tratamiento de los datos. Esta idea se refleja en comentarios como: "Creo que es un sistema práctico que protege la identidad de las personas al tiempo que permite a los organizadores de eventos estudiar cómo se desarrollan estos". Este tipo de respuesta sugiere que los expertos perciben la herramienta como una propuesta útil no solo desde el punto de vista funcional, sino también desde una perspectiva ética y metodológica.

Además, los expertos valoraron positivamente su potencial para mejorar el análisis de las interacciones sociales. En este sentido, consideraron que la aplicación constituye una base sólida sobre la que desarrollar soluciones más completas en el futuro. Esta valoración queda reflejada en comentarios como: *"Creo que es una herramienta que aplica la teoría sociológica de forma correcta y responsable y que puede facilitar una mayor comunicación e intercambio de opiniones en las conferencias de divulgación pública. Aunque se encuentra en una fase inicial, tiene el potencial de convertirse en una herramienta muy útil tanto para los gestores como para los usuarios"*.

4.4. Discusión

Aunque el número de participantes fue reducido, la evaluación permitió obtener conclusiones preliminares relevantes sobre la usabilidad del sistema y su posible aplicación futura. En términos generales, los comentarios recibidos reflejan una valoración positiva de la herramienta, especialmente en relación con su utilidad, su portabilidad y su potencial de desarrollo en distintos contextos.

No obstante, la evaluación también puso de manifiesto algunas cuestiones relacionadas con la gestión de datos personales. El uso de una herramienta de este tipo a gran escala puede implicar riesgos de uso indebido de la información, especialmente si su explotación prioriza los intereses de terceros por encima de los de los propios usuarios. Por ello, se considera necesario que el sistema mantenga un equilibrio entre la obtención de información útil para el análisis del evento y la protección de la privacidad individual. En este sentido, la herramienta debería limitarse a proporcionar únicamente la información práctica y necesaria, preservando la identidad de los usuarios durante el análisis de la conferencia.

Además, los comentarios de los expertos señalaron posibles riesgos asociados a la percepción de hipervigilancia y al denominado efecto panóptico, especialmente en contextos académicos o laborales. Aun así, también se indicó que estos problemas podrían reducirse si el uso del sistema se limita, al menos en una primera fase, a conferencias de carácter informativo, tal y como se plantea en esta propuesta. Del mismo modo, el empleo de dispositivos no intrusivos, como los smartwatches, junto con una explicación clara sobre qué datos se recogen y con qué finalidad se utilizan, podría contribuir a disminuir esta percepción de vigilancia.

En conjunto, la valoración general del sistema fue positiva. Destacan especialmente los resultados del cuestionario UMUX-Lite, en el que ambas encuestas situaron la herramienta en el rango de “usabilidad muy buena”. Asimismo, varios expertos la consideraron una propuesta sólida y prometedora, con potencial para evolucionar hacia una aplicación analítica capaz de detectar interacciones sociales más complejas, apoyada en una base teórica consistente y compatible con la protección de la privacidad. Por su parte, los participantes valoraron la herramienta como una propuesta interesante y manifestaron su disposición a utilizarla en conferencias y en otros contextos sociales similares.

5. CONCLUSIÓN Y TRABAJO FUTURO

La psicología cognitiva y la teoría de la proxémica abarcan un conjunto amplio y complejo de factores, por lo que resulta difícil considerar todos sus parámetros en un único sistema. Aun así, la propuesta presentada busca extraer información a partir de la aplicación de fundamentos teóricos, en lugar de basarse en criterios aleatorios o en percepciones subjetivas, como ocurre con frecuencia en muchas aplicaciones y redes sociales. Como resultado, el proyecto ha dado lugar al desarrollo de una aplicación capaz de adaptarse a distintos entornos y de favorecer la interacción social. En el contexto de las conferencias, esta herramienta permite a los organizadores analizar las interacciones sociales que tienen lugar durante el evento, así como caracterizar su naturaleza a partir de la teoría de la proxémica. De este modo, es posible obtener información tanto sobre el tipo de interacción como sobre la relación existente entre los distintos individuos.

A lo largo del proyecto se alcanzaron los objetivos establecidos al inicio del desarrollo. Sin embargo, el propio proceso de diseño y evaluación dio lugar a nuevas ideas y posibilidades de ampliación que no pudieron implementarse en esta fase. A partir de las evaluaciones realizadas y de los comentarios proporcionados por los expertos, se identificaron las principales líneas de trabajo para el desarrollo futuro. Entre ellas, se dará prioridad a la mejora de la privacidad y a la detección de interacciones, con especial atención a la gestión segura de los datos y a la presentación de la información desde un enfoque más alineado con la teoría empleada. Además, las aportaciones de los expertos en relación con la psicología cognitiva abren la posibilidad de incorporar nuevos marcos teóricos al sistema. Entre ellos, destaca la teoría interaccionista, que plantea que los conflictos o diferencias que surgen en tiempo real, como la diversidad de gustos u opiniones, pueden generar debate y, con ello, favorecer nuevas interacciones y posibles soluciones desde la perspectiva de cada individuo. Por último, también se prevé realizar una evaluación del rendimiento del sistema en un entorno social con un mayor número de participantes, con el fin de analizar tanto su comportamiento en situaciones de carga elevada como la percepción de los usuarios desde un punto de vista sociológico.

Agradecimientos: Este trabajo ha sido subvencionado parcialmente por los proyectos I+D+i PID2022-140907OB-I00 y PID2025-171341OB-I00, financiados por MICIU/AEI/10.13039/501100011033 y ERDF, UE. También, ha sido subvencionado parcialmente por la Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha/ERDF (SBPLY/24/180225/000020) y por la Universidad de Castilla-La Mancha (2025-GRIN-38441).

6. REFERENCIAS

American-Psycological-Association. (2023a). *Definición de comportamiento social*.

- American-Psycological-Association. (2023b). *Definición de la interacción social*.
- Arakawa, T. (2018). Recent research and developing trends of wearable sensors for detecting blood pressure. *Sensors (Switzerland)*, 18(9). <https://doi.org/10.3390/s18092772>
- Baumeister, R. F., & Leary, M. R. (1995). The Need to Belong: Desire for Interpersonal Attachments as a Fundamental Human Motivation. *Psychological Bulletin*, 117(3), 497–529. <https://doi.org/10.1037/0033-2909.117.3.497>
- Berkman, L. F., Glass, T., Brissette, I., & Seeman, T. E. (2000). From social integration to health: Durkheim in the new millennium☆☆This paper is adapted from Berkman, L.F., & Glass, T. Social integration, social networks, social support and health. In L. F. Berkman & I. Kawachi, *Social Epidemiology*. New York: Oxford University Press; and Brissette, I., Cohen S., Seeman, T. Measuring social integration and social networks. In S. Cohen, L. Underwood & B. Gottlieb, *Social Support Measurements and Intervention*. New York: Oxford University Press. *Social Science & Medicine*, 51(6), 843–857. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0277-9536\(00\)00065-4](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0277-9536(00)00065-4)
- Blinkoff, E., Nesbitt, K., Golinkoff, R., & Hirsh-Pasek, K. (2023). Investigating the contributions of active, playful learning to student interest and educational outcomes. *Acta Psychologica*, 238, 103983. <https://doi.org/10.1016/j.actpsy.2023.103983>
- Fuller, D., Colwell, E., Low, J., Orychock, K., Ann Tobin, M., Simango, B., Buote, R., van Heerden, D., Luan, H., Cullen, K., Slade, L., & Taylor, N. G. A. (2020). Reliability and Validity of Commercially Available Wearable Devices for Measuring Steps, Energy Expenditure, and Heart Rate: Systematic Review. *JMIR MHealth and UHealth*, 8(9). <https://doi.org/10.2196/18694>
- Goffman, E. (1956). *The Presentation of Self in Everyday Life*. University of Edinburgh.
- Goffman, E. (1967). *Interaction Ritual: Essays on Face-to-Face Behavior*. University of Edinburgh.
- Hall, E. T. (1990). *The Hidden Dimension*. Knopf Doubleday Publishing Group. <https://books.google.es/books?id=zGYPwLj2dCoC>
- Helliwell, J. F., & Putnam, R. D. (2004). The Social Context of Well-Being. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 359(1449), 1435–1446. <https://doi.org/10.1098/rstb.2004.1522>
- House, J. S., Landis, K. R., & Umberson, D. (1988). Social Relationships and Health. *Science*, 241(4865), 540–545. <https://doi.org/10.1126/science.3399889>
- Jim Lewis, J. S. (2021). *How to Estimate SUS Using the UX-Lite – MeasuringU*.
- Lewis, J. R., Utesch, B. S., & Maher, D. E. (2015). Measuring Perceived Usability: The SUS, UMUX-LITE, and AltUsability. *International Journal of Human-Computer Interaction*, 31(8), 496–505. <https://doi.org/10.1080/10447318.2015.1064654>
- Macdonald, B., Luo, M., & Hülür, G. (2021). Daily social interactions and well-being in older adults: The role of interaction modality. *Journal of Social and Personal Relationships*, 38(12), 3566–3589. <https://doi.org/10.1177/02654075211052536>

- McMahon, E., & Isik, L. (2023). Seeing social interactions. *Trends in Cognitive Sciences*, 27(12), 1165–1179. <https://doi.org/10.1016/J.TICS.2023.09.001>
- Parker, C., Scott, S., & Geddes, A. (2019). *Snowball Sampling*. SAGE Publications Ltd. <https://doi.org/10.4135/9781526421036831710>
- Pfeiffer, U. J., Timmermans, B., Vogeley, K., Frith, C. D., & Schilbach, L. (2013). Frontiers research topic: “Towards a neuroscience of social interaction.” *Frontiers in Human Neuroscience*, 7(JAN), 42174. <https://doi.org/10.3389/FNHUM.2013.00022/BIBTEX>
- RAE. (2024). *proxémico, proxémica | Definición | Diccionario de la lengua española | RAE - ASALE*.
- Scikit-Learn. (2024). *MDS — scikit-learn 1.5.0 documentation*.
- Sciortino, F. (2018). Why organizing a scientific conference can produce huge benefits. *Nature*, 559, 431. <https://doi.org/10.1038/d41586-018-05714-9>
- Teubner, R. A., & Stockhinger, J. (2020). Literature review: Understanding information systems strategy in the digital age. *The Journal of Strategic Information Systems*, 29(4), 101642. <https://doi.org/10.1016/j.jsis.2020.101642>
- Tirapu-Ustárrroz, J., Pérez-Sayes, G., Erekatxo-Bilbao, M., & Pelegrín-Valero, C. (2007). ¿Qué es la teoría de la mente? *REV NEUROL*, 44(8), 479.
- Umberson, D., & Montez, J. K. (2010). Social Relationships and Health: A Flashpoint for Health Policy. <Http://Dx.Doi.Org/10.1177/0022146510383501>, 51(1_suppl), S54–S66. <https://doi.org/10.1177/0022146510383501>
- Wajgi, D. W., Tembhurne, J. V., & Wajgi, R. D. (2024). Distance-Based Localization in Wireless Sensor Network Using Exponential Grey Prediction Model. *International Journal of Business Data Communications and Networking*, 19(1), 1–22. <https://doi.org/10.4018/ijbdcn.353393>