

Indoor Navigation Technologies Based on RFID Systems to Assist Visually Impaired People: A Review and a Proposal

Y. Sáez, *Senior Member, IEEE*, H. Montes, A. García, *Member, IEEE*, J. Muñoz, E. Collado, *Senior Member, IEEE*, R. Mendoza

Abstract—This paper presents a study of the main contributions, in terms of the development of electronics and RFID technologies, to assist people with visual disabilities in their mobilization in indoor spaces. The main aspects taken into consideration when designing an assistive system for people with visual impairments for planning and execution of a movement from one place to another and/or for exploration of a site of interest autonomously are included. This study is important to identify the main technologies based on circuits and systems, electronics, ICT, and RF communication that have been proposed to help people with this type of disability in their indoor mobilization, as well as the techniques of location, navigation, orientation, and detection of objects, among other important functionalities for this type of systems. This work allowed us to propose the conceptual design of a novel system based on RFID and electronics technologies to help visually impaired people in their navigation in indoor environments, which will contribute to their social inclusion.

Index Terms—Electronics technology, Indoor environments, Indoor location, Indoor navigation, Orientation, Radiofrequency communication, RFID, Visually impaired people.

I. INTRODUCCIÓN

La discapacidad visual representa uno de los tipos de discapacidades más difíciles que una persona debe sobrellevar y, a pesar de los numerosos avances en la tecnología, las personas con discapacidad visual (PcDV) aún luchan todos los días para realizar acciones que, a simple vista, pueden parecer sencillas, como moverse de un punto a otro sin caerse o tropezar con obstáculos, entre otros. Es común que las

Este trabajo ha sido desarrollado en el marco del proyecto MOVIDIS II, financiado por la Secretaría Nacional de Ciencia, Tecnología e Investigación (SENACYT) de Panamá, bajo el contrato por mérito No. 99-2018-4-FID17-031. Yessica Sáez y Edwin Collado reconocen el apoyo del Sistema Nacional de Investigación (SNI) de Panamá para proporcionar financiamiento parcial para la publicación de este manuscrito a través de los contratos por subsidios económicos No. 200-2017 y No. 82-2019, respectivamente. Héctor Montes agradece al SNI de Panamá (Resolución 90-2017) por el apoyo a sus miembros y al Centro de Automatización y Robótica CSIC-UPM de España por su apoyo en proyectos de investigación.

Y. Sáez, H. Montes, A. García, J. Muñoz, E. Collado y R. Mendoza, Universidad Tecnológica de Panamá, El Dorado, Panama City 0819-07289, Panama, (e-mail: {yessica.saez, hector.montes, antony.garcia, jose.munoz, edwin.collado, ruben.mendoza}@utp.ac.pa).

Y. Sáez, E. Collado y H. Montes, Centro de Estudios Multidisciplinarios en Ciencias, Ingeniería y Tecnología-AIP (CEMCIT-AIP), Panama City 0819, Panama.

Autor de correspondencia: edwin.collado@utp.ac.pa.

PcDV se enfrenten con inconvenientes que les dificulten la planeación y ejecución de un desplazamiento de un lugar a otro y/o realizar una exploración de un sitio de interés de manera autónoma. Además, muchos de los programas actuales de capacitación para personas ciegas, o con discapacidad visual, requieren que ellas memoricen una gran cantidad de información de numerosos puntos de interés (universidades, centros comerciales, terminales de autobuses, hospitales, etc.), lo que produce un aumento de la frustración personal en ellos. La navegación en el interior de edificios desconocidos resulta difícil para las PcDV, donde se asisten principalmente con personas sin dificultades de visión, “lazarillos” (perros guía) y/o bastones blancos, restándoles autonomía [1], [2], [3]. Las principales dificultades en la navegación y orientación en interiores que enfrentan son: falta de puntos de referencia conocidos, presencia de obstáculos que pueden ser riesgosos, superficies no homogéneas y/o resbaladizas, no todas las PcDV pueden leer etiquetas de Braille, el precio de los sistemas existentes para la navegación en interiores que escapa de su poder adquisitivo, entre otros [1], [2], [3].

Los investigadores han avanzado en el estudio de las tecnologías de la información (de próxima generación) con el fin de mejorar la calidad de vida de las personas, popularizando el concepto de tecnologías de asistencia, cuyo objetivo es abordar los desafíos sociales y económicos como: recursos limitados, discapacidades e inclusión [4].

II. TECNOLOGÍAS PARA ASISTIR A PcDV EN SU MOVILIZACIÓN EN INTERIORES

En esta sección se hará un resumen de varias tecnologías que se han desarrollado para proporcionar ayudas a las PcDV en su movilización en entornos de interiores de edificios. Se han tomado en consideración las técnicas más relevantes para la localización de las PcDV en un entorno bidimensional y para la orientación y navegación en ellos. Adicionalmente, se hace una descripción breve de las señales de retroalimentación que reciben los usuarios para poder tomar decisiones cuando se realiza el proceso de navegación hacia un destino deseado.

A. Soluciones Tradicionales para Asistir a PcDV

Para moverse con seguridad, las PcDV usan dispositivos, artefactos u otro tipo de asistencia que les ayudan en el proceso de movilización y/o navegación en el entorno en donde

transitan. El dispositivo más común es el bastón blanco que se usa principalmente para detectar obstáculos y para ayudar a desviarse de ellos [4], [5], [6].

Una desventaja del bastón blanco es que, aunque este promueve la adquisición de puntos de referencia que las personas ciegas usan para propósitos de orientación, el mismo no puede dar información de ubicación geográfica específica o localización dentro de un entorno interior a su usuario, información que es vital para la independencia en la navegación [4]. Otra desventaja de este artefacto es que, debido a su dimensión, forma o localización, solo puede detectar obstáculos hasta el nivel de la cintura y no puede detectar personas u objetos a más de medio metro de distancia, aproximadamente [4], [5]. Aunque este dispositivo es relativamente económico, requiere de una "capacitación sustancial del usuario" [6] y que los usuarios exploren activamente el área que se encuentra a continuación y alrededor de ellos [7].

Además, las PcDV, en muchas poblaciones, todavía requieren la asistencia de personas con visión normal o perros guía para llevarlos a la mayoría de los destinos, ayudándoles a desviarse de varios tipos de obstáculos o situaciones imprevistas [4], [5]. La desventaja principal de utilizar este tipo de ayuda radica en la falta de independencia y privacidad del usuario. Además, cuando utilizan perros guías, los mismos no adquieren puntos de referencia como con el bastón blanco. Por lo tanto, la PcDV debe estar más alerta a las señales del perro guía que cuando usa el bastón [5]. Al igual que con el bastón blanco, la detección de obstáculos por encima del nivel de la cintura del usuario al utilizar perros guías no es posible, ya que por naturaleza el perro no informará a la PcDV sobre la necesidad de desviarse de los obstáculos que se encuentran por encima de él. Otra desventaja del uso de perros guía es la prohibición o dificultad de entrar con animales en ciertos lugares. Sin embargo, cuando se lo compara con el bastón blanco, el perro guía es más efectivo para lidiar con los obstáculos debajo de la cintura del usuario [4].

Estas dificultades han motivado a diversos grupos de investigación a proponer y desarrollar diversos tipos de sistemas de navegación innovadores para ayudar a las PcDV en su desplazamiento y orientación por donde transiten, especialmente para las personas ciegas. Tal como se describe en las secciones siguientes de este artículo, gracias a los avances tecnológicos ha sido posible la creación de diferentes equipos electrónicos para ayudar a las PcDV en su movilización en interiores, tales como diferentes sistemas de navegación, de prevención de obstáculos, de localización de objetos/obstáculos, de asistencia de orientación.

B. Técnicas para la Localización de PcDV en Interiores

La navegación se refiere al proceso o actividad de determinar con precisión la posición o ubicación de una persona para planificar y seguir una determinada ruta. Todos los sistemas de navegación ya sean para exteriores o interiores, deben incluir una forma básica de localización, es decir, la determinación de la posición de un usuario. Los sistemas de localización, actualmente, están ampliamente disponibles en el mercado, como base para encontrar la ruta más rápida u óptima hacia un destino específico o, simplemente, para recuperar

información contextual sobre el medio ambiente y los puntos de interés cercanos (POI) [8]. La mayoría de estos sistemas utilizan el Sistema de Posicionamiento Global (GPS) para la localización en exteriores [8], pero no en interiores de edificios porque sus señales se degradan mucho [9], [10].

Tal como se describe más adelante, para abordar la tarea de encontrar la ubicación del usuario en ambientes interiores, se han utilizado varias técnicas y tecnologías. Generalmente, los métodos o técnicas de localización se pueden agrupar en cuatro categorías diferentes: Navegación por estima o *Dead Reckoning*, detección directa, triangulación y reconocimiento de patrones [11]. Además, existen diversas tecnologías disponibles para cada una de estas técnicas, las cuales se analizan en las siguientes subsecciones. Es importante mencionar que algo muy común de algunos sistemas propuestos para asistir a PcDV en su movilización en interiores, utilizan más de una tecnología y/o método de ubicación para lograr una mejor medición de los datos, lo cual también depende mucho del ambiente donde se desarrolla el proyecto.

1) Navegación por estima (*Dead Reckoning*)

En la navegación, las técnicas de determinación de la ubicación por estima o *Dead Reckoning* (DR) en inglés, es el proceso de estimar la posición o ubicación actual de una persona utilizando como referencia una posición determinada o estimada previamente, o fijar y hacer avanzar esa posición en función de las velocidades conocidas o estimadas sobre el tiempo transcurrido y el curso que lleva [11]. Mientras el usuario se está moviendo, el sistema de DR estima la ubicación del usuario a través de la información agregada proveniente de sensores como acelerómetros, magnetómetros, brújulas y giroscopios [12], [13], [14], [15] o mediante el uso del patrón de la caminata específica de un usuario (como su velocidad promedio) [16]. En este último caso, el dispositivo debe ser siempre utilizado por el mismo usuario, ya que el modelo del patrón de caminata se entrena para cada persona en particular. Para establecer la ubicación inicial del usuario se han propuesto diversas técnicas como las presentadas en [13], [14], [15].

Una posible desventaja del DR es que esta técnica de navegación solamente estima (mas no determina) la posición relativa de un usuario respecto a su localización inicial [11]. En otras palabras, tiene problemas de inexactitud en la estimación de la ubicación, ya que es un proceso recursivo, por lo que se presenta una acumulación de errores que pueden afectar el sistema a largo plazo [11]. No obstante, diversas soluciones han sido propuestas para tratar de corregir el problema de acumulación de errores [12], [13], [14]. A pesar de estos inconvenientes, DR es una técnica que proporciona una exactitud aceptable y precisión a corto plazo, además de que no es costosa y permite tasas de muestreo muy altas.

2) Detección directa

Los métodos de localización basados en la detección directa utilizan etiquetas (*tags*) u otro tipo de identificadores para determinar la ubicación del usuario [11]. Generalmente, estas etiquetas son instaladas a nivel del piso [10], [17], en puntos estratégicos como escaleras, puertas y paredes [18] u otras

estructuras del entorno en el que se moviliza el usuario. De acuerdo con los autores de [11], existen dos formas en que las etiquetas pueden brindar información sobre la ubicación del usuario: la información de ubicación e información sobre el entorno del usuario almacenada en la etiqueta, o utilizando la identificación única de ellas para recuperar esta información de una base de datos. Para ambos casos es necesario contar con un lector de etiquetas, el cual puede estar implementado en dispositivos de mano, en un zapato o en un bastón blanco [10], [11], [17], [18], [19].

Los autores de [11] realizaron un excelente trabajo al clasificar información acerca de las tecnologías utilizadas dentro de la técnica de localización basados en la detección directa. A continuación, se describe, de manera resumida, cinco tecnologías diferentes que se están utilizando para la localización de personas utilizando etiquetas, que se encuentra dentro de la técnica de detección directa, las cuales son: (i) identificación por radio frecuencia (RFID), (ii) infrarrojos (IR), (iii) identificación por ultrasonido, (iv) balizas (*beacons*) Bluetooth, y (v) código de barras.

La identificación por radiofrecuencia (*Radiofrequency Identification*, RFID) es una tecnología sin contacto la cual, como su nombre lo indica, tiene como función inicial y principal la identificación de objetos, animales y personas asociadas que porten algún dispositivo que se comunique por medio de radiofrecuencia (RF) [20]. Esta tecnología también es utilizada para transferir datos a través de ondas de radio. Tiene dos componentes principales: un transpondedor (también llamado etiqueta) que puede ser pegado, unido, implantado, incrustado, etc., en objetos, animales o personas, y un lector de RFID [20]. Las etiquetas pueden ser pasivos [10], [21], es decir, que envían datos respondiendo a la solicitud del lector y son alimentados por la energía electromagnética transmitida desde el lector RFID. Estas etiquetas están compuestas de un chip que acumula datos, una antena para transferir los datos usando ondas de radio y un sustrato para unir la antena y el chip (ver Fig. 1).

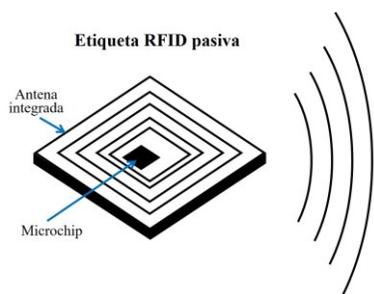


Fig. 1. Etiqueta RFID pasiva [7], [18].

Las etiquetas activas [17] contienen los mismos componentes que los pasivos, con la diferencia de que el chip es más grande y tiene batería incorporada, lo que permite que la etiqueta funcione como un lector independiente y emitir continuamente su propia señal. Algunas etiquetas activas tienen características adicionales como microprocesadores, puertos seriales, sensores, entre otras. Las etiquetas activas proporcionan un alcance de lectura mucho más amplio que los pasivos y pueden almacenar más datos, pero también son mucho más costosos [22]. En general, las etiquetas RFID son

relativamente baratas [19], pero su instalación en entornos grandes puede ser costosa, ya que ellas deben estar incrustadas en los pisos o paredes para que los usuarios las detecten. Por ejemplo, si un ambiente interior tiene un piso alfombrado, los costos de instalación pueden ser bajos, no así en el caso de pisos de concreto o mármol, donde puede ser extremadamente costoso [23], por lo tanto, esta opción debe ser descartada. Otra desventaja de esta tecnología es que el cuerpo humano puede bloquear las señales de RF [24]. Además, una vez instaladas, las etiquetas pueden ser difíciles de actualizar. Algunas etiquetas sólo son legibles y necesitan ser reemplazadas, mientras que otras pueden actualizarse, pero esto no se puede hacer de forma remota y, para ello, se debe estar a una corta distancia de la etiqueta.

La tecnología de transmisión de datos por medio de infrarrojos (IR) consiste en un haz de luz de corto alcance enfocado en un espectro de frecuencia determinado (875 nm, según el estándar IrDA). Este haz se modula con información y se envía desde un transmisor a un receptor a una distancia relativamente corta [25]. Este tipo de localización utiliza transmisores IR que se instalan en posiciones estratégicas donde cada uno transmite una identificación (ID) única en una región con forma de cono [20]. El usuario lleva un receptor IR que recoge los datos de los transmisores IR dentro del área de cobertura. En algunos sistemas, los transmisores no solo transmiten la posición del usuario, sino que también brindan información sobre el entorno e indicaciones gráficas para caminar. Una de las desventajas de esta tecnología se relaciona con la ubicación de los identificadores, ya que para lograr una buena comunicación por IR se requiere que ambos dispositivos tengan una línea de vista casi perfecta (aproximadamente $\pm 15^\circ$ con relación al eje central del cono de transmisión) [26]. Otro inconveniente de estos sistemas es que su instalación puede ser costosa debido a la gran cantidad de transmisores IR que se deben instalar [25].

La identificación por ultrasonido es una tecnología de sistema de posicionamiento en interiores que utiliza emisores de ondas de ultrasonido con una longitud de onda de corto alcance [20], [27]. En algunos casos, los emisores se instalan en la infraestructura y el usuario es quien porta el receptor o receptores. En estos sistemas, el usuario se localiza utilizando la diferencia de tiempo de vuelo de las señales de ultrasonido recibidas desde los emisores más cercanos a cada receptor. También existen sistemas en el que se coloca un receptor en cada hombro del usuario, de esta manera también se puede calcular la orientación del mismo [27]. En otros sistemas basados en ultrasonido, el usuario porta el emisor de ultrasonido y los receptores se instalan en el entorno [28]. Para estos casos, la ubicación de los usuarios se determina de forma centralizada [20]. Una desventaja del ultrasonido es que la señal original se dispersa en el ambiente debido a los reflejos de los pulsos. Esto hace que múltiples copias de la misma señal alcancen el receptor con diferentes retrasos, lo que dificulta la identificación de la señal original [29]. Esto resulta en una localización menos precisa. Otro inconveniente es la línea de visión requerida entre el receptor y el emisor [30].

Las balizas Bluetooth son pequeños transmisores de

radiofrecuencia que envían señales en un radio de 10 a 30 metros (en interiores) mientras esperan a los dispositivos cercanos que las capten y entiendan su significado. Esta es una tecnología que actualmente está siendo muy utilizada para la localización en interiores [31]. Las balizas Bluetooth transmiten sus ID, los cuales están asociados a coordenadas físicas, que se almacenan en una base de datos o en una aplicación. Los métodos de posicionamiento basados en balizas Bluetooth consisten principalmente en dos tipos: basados en alcance y basados en huellas digitales (*fingerprinting*) de la señal [32]. Los métodos basados en alcance adoptan un modelo de pérdida de trayectoria de radiofrecuencia (RF) predefinido para estimar la distancia entre los receptores (usuarios) y los balizas. Otra forma de determinar la posición de las balizas es comparar los valores del indicador de intensidad de señal recibida (RSSI), que representa un valor de la potencia de una señal de radio recibida, con los datos almacenados en sus balizas y sus coordenadas, para así obtener una estimación aproximada de la posición del receptor. Como resulta evidente, cuanto mayor sea la distancia, menor será el nivel de la señal RSSI. Las ventajas de las balizas son obvias: económicos, se pueden instalar con un esfuerzo mínimo, determinan la posición con precisión y son compatibles con muchos sistemas operativos y dispositivos. Sin embargo, las balizas Bluetooth requieren una fuente de alimentación y, por lo tanto, se les debe dar mantenimiento. Además, las balizas no tienen una antena direccional. En otras palabras, solo se puede recibir una estimación de la distancia a la baliza, no de qué dirección proviene la señal. Por tal razón, es necesario tener señales de tres o más balizas y comparar los valores de RSSI con cada uno de ellos. Cuando las balizas están bien ubicadas, el cálculo le indicará una ubicación específica dentro de la zona. Este proceso se conoce como trilateración, el cual es un método de triangulación [11], [26], y para el cual se han propuesto varias técnicas [32], tal como se describirá en otra subsección.

El código de barras es un arreglo en paralelo de barras y espacios que contienen información codificada. Esta tecnología también se puede usar como identificadores para localizar a un usuario, donde los usuarios llevan un lector de código de barras [33]. Al navegar, los usuarios escanean los códigos de barras a lo largo del camino y según su ID único, el sistema puede proporcionar al usuario información sobre su ubicación y entorno y si se está moviendo en la dirección correcta [33]. La principal ventaja de este método es que es fácil de instalar y mantener, además de no ser costoso. Sin embargo, tiene la desventaja que, para ubicarse y orientarse, el usuario tiene que encontrar cada código de barras, porque necesita línea de vista entre el lector y el código. Esto, además de ser un gran inconveniente para sistemas de ayudas a PcDV, también lo es para un usuario sin dificultades visuales, con lo cual la navegación sería un poco lenta. También, los lectores de código de barras son más difíciles de construir que los de otras tecnologías, como RFID, sin considerar los teléfonos móviles. Los conceptos descritos en este párrafo también son extensibles al código QR (en inglés, *Quick Response code*).

Con el objetivo de mejorar la precisión en la localización, existen algunos sistemas que utilizan más de un tipo de

etiquetas RFID (activas y pasivas, como en [17]) e incluso más de una técnica de detección directa, como, por ejemplo, el presentado en [34], en donde los autores proponen un sistema de ubicación que utiliza una combinación de etiquetas RFID activas y pasivas, balizas IR, y códigos QR. La principal desventaja relacionada con el uso de más de una técnica de ubicación es el costo extra proveniente del equipo adicional que el usuario debe llevar.

3) Triangulación

El método de triangulación utiliza las propiedades geométricas de los triángulos para la localización de objetivos en entornos 2D y 3D [26]. Generalmente, cuando se emplean múltiples identificadores ubicados en puntos estratégicos conocidos en interiores de edificios, algunos sistemas de localización ubican al usuario al triangular las etiquetas instaladas con el dispositivo que él porta. Es decir, que el sistema requiere de al menos tres puntos para localizar al usuario [35]. La triangulación se puede dividir en dos subcategorías que son: lateración y angulación.

El método de lateración calcula la posición de un objeto al medir la distancia entre múltiples puntos de referencia. Para calcular la posición de un objeto en un plano bidimensional se requiere medir la distancia desde el punto en donde está ubicado el objeto y tres puntos no colineales (Fig. 2) [26], [36], [37]. Para lograr lo mismo en un espacio tridimensional, se requiere medir la distancia desde el punto central hasta cuatro puntos no colineales.

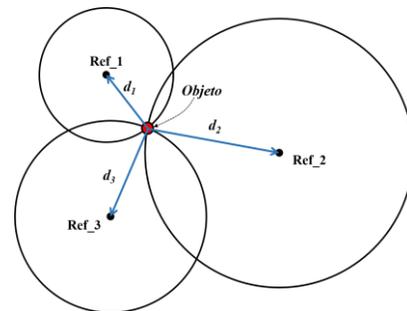


Fig. 2. Concepto básico del método de lateración en dos dimensiones.

Las distancias, en la técnica de lateración, se pueden aproximar de diversas formas: (i) directa, es decir, la medición directa de la distancia por medio del movimiento; (ii) tiempo de vuelo, el cual utiliza el tiempo transcurrido en una transmisión entre emisor y receptor, consiguiendo una velocidad de propagación estimada de la señal; o, (iii) atenuación que utiliza la intensidad de la señal emitida para estimar la distancia que separa al transmisor del objeto receptor [26].

Con la técnica de angulación se puede estimar la posición de un punto en un espacio 3D utilizando solo información angular de dos o más puntos de referencia conocidos, en lugar de utilizar dos ángulos y una medición de distancia [36]. Utiliza las medidas angulares de al menos tres puntos conocidos por el usuario [26]. En 2D, para obtener la ubicación de un objeto, se deben ocupar dos puntos de referencia conocidos y dos ángulos medidos respecto del objeto. Se fija un vector relativo en cero grados (0°), dentro del marco de referencia utilizado, y en base

a este se miden los ángulos de los vectores formados desde cada punto de referencia hacia el punto objetivo (Fig. 3).

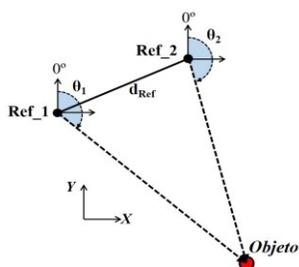


Fig. 3. Diagrama de la técnica de angulación en dos dimensiones.

4) Reconocimiento de Patrones

Los métodos de localización basados en el reconocimiento de patrones utilizan datos de uno o más sensores portados por el usuario y comparan estos datos con el conjunto de datos de sensores previamente recolectados que se han utilizado para formar un mapa del entorno. Este mapa de datos de sensores se puede crear muestreando en diferentes ubicaciones o de forma manual [38]. En los sistemas de navegación humana existen diferentes técnicas de reconocimiento de patrones, entre ellas: la visión artificial y la distribución de señal o impresión de huellas digitales o *fingerprinting*.

La técnica de visión artificial utiliza la coincidencia de imágenes, para determinar la posición y la orientación de los usuarios. Inicialmente, se debe contar con una base de datos de imágenes con ubicación conocida para generar un mapa del entorno. El usuario debe portar una cámara, ya sea una cámara independiente o incorporada en un dispositivo portátil. Al navegar, la cámara captura imágenes del entorno y, a continuación, compara las imágenes con la base de datos de imágenes para determinar la posición y la orientación de los usuarios [29], [39], [40], [41], [42]. Entre las desventajas de esta técnica están la alta capacidad de almacenamiento y de computación requerida para el almacenamiento de imágenes y el proceso de comparación de las mismas [11].

La técnica de localización basada en la impresión de huellas digitales requiere una fase de entrenamiento previo, donde se mide la intensidad de la señal recibida desde diferentes ubicaciones y se registra y almacena en una base de datos para crear un mapa de intensidad de señal de la zona. Posteriormente, cuando el usuario está navegando, la intensidad de la señal recibida o su distribución en el tiempo se mide y compara con el mapa para encontrar la coincidencia más cercana. En [43], [44] se muestran ejemplos de utilización de técnicas de localización utilizando la distribución de la señal, donde se utiliza la intensidad de la señal de los puntos de acceso WLAN. Entre las ventajas de esta técnica están la utilización de puntos de acceso o estaciones base existentes, lo cual se traduce en una menor inversión en infraestructura [45].

C. Orientación y Navegación de PcDV en Interiores

Los autores de [10] definen la orientación como “la habilidad subjetiva para conocer el posicionamiento propio en un espacio, tanto en sentido absoluto como respecto del punto de partida y de llegada”. La orientación requiere de un complejo proceso

cognitivo y perceptivo, y de la adquisición de información sensorial que proviene del ambiente y del cuerpo humano, en este caso. En el caso de las personas ciegas o con problemas de discapacidad visual, la orientación requiere de un esfuerzo adicional por la complejidad y el estrés cognitivo que conlleva, al tener que contar con puntos de referencia (información obtenida del ambiente a través de otros sentidos diferentes al de la visión) y marcas de referencia (aceras, paredes, cambios de la superficie del suelo, etc.) [1], [2], [3], [10].

Inicialmente, las PcDV requieren del apoyo de perros o personas que los guíen en su navegación en espacios o lugares desconocidos, como ha sido mencionado anteriormente. Esto les brinda un reconocimiento inicial de los lugares visitados. Es común que las PcDV logren orientarse por sí solos en lugares familiares para ellos, al reconocer características conocidas del lugar (orientación absoluta) o percibiendo y/o palpando sonidos y/u objetos desconocidos pero regulares, como puertas, paredes, escaleras o ángulos de paredes de una habitación (orientación relativa) [1], [2], [3], [10].

Por otro lado, la capacidad de navegar por los espacios de manera independiente, segura y eficiente es el producto combinado de la utilización de habilidades motoras, sensoriales y cognitivas. El ejercicio normal de esta habilidad requiere de lo que se conoce como un “mapeo mental” de los espacios y los posibles caminos para navegar por los mismos, información obtenida en su mayoría a través del canal visual [46].

Las personas ciegas, en consecuencia, carecen de esta información crucial y enfrentan grandes dificultades para generar mapas mentales de espacios eficientes y, por lo tanto, para orientarse y navegar satisfactoriamente dentro de ellos. Esta es una de las principales razones que lleva a la persona ciega a depender de otras personas o perros guías para navegar en lugares de interés. Además, para las PcDV la navegación en edificios desconocidos es desafiante, especialmente cuando se visita por primera vez [47], ya que muchas veces se enfrentan con inconvenientes, como falta de puntos de referencia conocidos, obstáculos riesgosos, ruidos desconocidos, etc.

Se han propuesto diferentes tecnologías para asistir a PcDV en su navegación en ambientes abiertos, cerrados o mixtos. Para la navegación en ambientes abiertos o exteriores, la tecnología más utilizada es el GPS la cual, como ha sido mencionado anteriormente, no es apropiada para ambientes cerrados.

De acuerdo con [48], hay dos métodos básicos propuestos para sistemas de navegación en interiores para PcDV: (i) la navegación basada en información de sensores, que determina la posición de la PcDV (por ejemplo, los métodos de pilotaje), y (ii) la navegación que encuentra la posición actual de la PcDV utilizando información de la posición anterior y una estimación de velocidad y dirección de los movimientos, por ejemplo, el método de navegación por estima (DR). Dentro de los métodos de pilotaje se encuentran las técnicas basadas en IR, RFID, ultrasonidos, balizas Bluetooth, reconocimiento de patrones, los cuales ya han sido descritos brevemente en este documento.

Los sistemas de ayuda en la navegación de PcDV basados en las tecnologías antes mencionadas, requieren que ellos cuenten con una forma de comunicar o brindar información acerca de puntos y líneas de referencia útiles para que la PcDV se ubique

y pueda continuar con su movilización hasta el punto deseado. Para esto es importante contar con una forma de detectar objetos y poder retroalimentar al usuario sobre información de su entorno. Además, es importante conocer la intención de movilización del usuario, es decir, si el mismo va para un lugar específico, si solo pretende deambular, etc. Para esto, es necesario contar con una interfaz a través de la cual el usuario pueda brindarle esta información al sistema, así como también es importante planificar la ruta a seguir y darle instrucciones al usuario para que pueda llegar al destino final sin mayores complicaciones. Para tener una navegación independiente y segura, las PcDV también requieren contar con técnicas de detección de obstáculos que les permitan tener conocimiento de la presencia de peligros potenciales en su camino.

Tal como se describió anteriormente, el bastón blanco [4], [5], [6], [7] y los perros guías [4], [5], son soluciones tradicionales para apoyar a PcDV en su navegación y la detección de obstáculos. Aunque el bastón blanco tiene sus desventajas, ingenieros e investigadores alrededor del mundo han dedicado esfuerzos para mejorar y complementar electrónicamente el bastón blanco para guiar a los usuarios a un destino deseado, mientras evita obstáculos en el camino [7]. Es así como surgieron los bastones blancos electrónicos, los cuales utilizan diferentes tecnologías que le permiten al sistema alertar a los usuarios de los obstáculos que se encuentran delante de ellos antes de que sean tocados. En [10], un lector RFID fue incrustado dentro del bastón blanco para detectar etiquetas en el pavimento, interpretando automáticamente la información de este y así guiar al usuario. Los autores de [49], [50] propusieron adaptar un bastón blanco con emisores y receptores láser destinados a detectar objetos ubicados en línea recta, en bordes y en objetos sobresalientes. Otras tecnologías propuestas, del tipo manos libres, incluyen los detectores de obstáculos que utilizan sensores ultrasónicos [51], [52], y aquellos que detectan objetos al enviar ondas de ultrasonidos de alta frecuencia y recibiendo la señal reflejada [4], [53], [54], [55], [56], [57], [58]. En estos casos los transmisores de ultrasonidos son montados en gafas, cinturones o dispositivos que pueden acomodarse en bolsillos de los usuarios. La técnica de *fingerprinting* también puede ser utilizada para detectar objetos. En este caso se utilizan valores de RSSI medidos de los dispositivos emisores para identificar la distancia entre las PcDV y los obstáculos en el ambiente interior [59].

Debido a que se pueden tener distintos niveles de obstáculos: obstáculos a nivel de la cabeza, obstáculos al nivel del pecho, obstáculos al nivel del pie, obstáculos donde la parte inferior está más lejos que la parte superior que está al nivel de la cintura, obstáculos donde la parte inferior está más cerca que la parte superior del obstáculo, los autores de [2] propusieron el uso de sensores ultrasónicos colocados en diversas partes del cuerpo del usuario para detectar obstáculos a diferentes elevaciones con respecto al piso.

Además de localizar a los usuarios y detectar obstáculos, como característica extra, un sistema de navegación podría proporcionar rutas desde la ubicación actual del usuario hasta un destino específico que requiera alcanzar. Esto implica planificar una ruta y convertirla en instrucciones fáciles de

seguir. A medida que el usuario sigue las instrucciones, el sistema actualizará dinámicamente su estimación de la ubicación del usuario y generará una nueva dirección, una vez que se haya completado la dirección anterior [21]. Esta planificación de diferentes rutas hacia un destino o la actualización dinámica de la ruta es una característica común para los sistemas de navegación de automóviles (por ejemplo, el Waze o GPS) [60], [61].

Para el caso de los sistemas de navegación humana, muy pocos sistemas ofrecen esta característica extra [17], [21], [34], [62], debido a que la mayoría de estos sistemas parecen centrarse, principalmente, en la localización del usuario y en la detección de objetos, permitiendo a los usuarios explorar libremente el entorno que está a su alrededor más próximo.

A lo largo de la literatura se han identificado tres técnicas para proporcionar instrucciones a los usuarios, con el propósito de ayudarles en el proceso de navegación en un entorno desconocido, las cuales son, información visual (la cual, por razones obvias, no se describirá en este documento), información audible e instrucciones por medio del tacto.

Algunos sistemas de navegación utilizan sintetizadores de voz para proporcionar instrucciones a las PcDV [10], [42], [64], [65]. Entre las desventajas de esta técnica están la dependencia del lenguaje y de qué tan lento o rápido sean las instrucciones a seguir. En este sentido, los autores de [21], [66], [67], proponen la utilización de señales de audio, sin embargo, las mismas son limitadas debido a que no hay mucha variedad de señales que se puedan tener, además de causar un estrés cognitivo extra al usuario al tratar de recordar su significado. Estos sistemas no son recomendados en ambientes ruidosos. Por otro lado, algunos sistemas utilizan un zumbador o tonos de timbre para advertir al usuario sobre los obstáculos que se aproximan. Los autores de [4], montaron un sistema con sensores ultrasónicos, que emiten zumbidos, dos a nivel de hombros, los cuales el usuario portaba encima de su camisa con el fin de distinguir obstáculos a nivel de la cabeza y pecho y otros dos fueron montados en bandas elásticas a nivel de las rodillas, para detectar aquellos objetos ubicados por debajo de la cintura, considerando el alcance de detección de los sensores. Para distinguir entre los niveles de los obstáculos que se detectaban, se adoptaron duraciones de zumbidos diferentes. Al igual que las señales de audio, no son muchas las opciones de alerta que se pueden tener.

Las interfaces basadas en tacto proporcionan la salida utilizando el sentido del tacto y no interfieren con la capacidad del usuario para detectar su entorno inmediato a través de la vista o el oído. Por ejemplo, en [68] las instrucciones son traducidas a código Braille y mostradas en una interfaz de Braille para que la PcDV pueda recibir la información. El sistema en [69] utiliza un guante háptico para proveer instrucciones textuales al usuario mediante motores de vibración colocados en los dedos del guante. Otros, utilizan “*vibrotactores*” en un cinturón [70], [71], o en una mochila [72]. Las instrucciones basadas en tacto requieren que se proporcione un hardware adicional, lo que puede aumentar el costo del sistema, requieren de un mayor entrenamiento y requieren una mayor concentración del usuario.

Adicionalmente, en [9] se utiliza un actuador háptico implementado en el bastón blanco electrónico, además de la tecnología de conversión de texto a voz (ejecutada por solicitud del usuario o en presencia de información contextual relevante).

Por otro lado, muchos sistemas de navegación dan la facilidad al usuario de interactuar con el sistema. Es decir, el usuario puede introducir datos al sistema como, por ejemplo, su destino final. Es importante mencionar que muchos sistemas no incluyen esta característica debido a que se asume que el sistema comienza a funcionar cuando el usuario entra al área de cobertura de los dispositivos que lo conforman y que él mismo es capaz de discernir las instrucciones de navegación brindadas para llegar a su destino final, es decir, que muchos desarrollos ofrecen ayuda a las PcDV cuando los mismos se encuentran deambulando en un entorno cerrado.

Algunos sistemas utilizan técnicas de entrada convencionales, como pantallas táctiles [63], [73], teclados [5], [65] e interruptores [64], [74]. En el caso particular de las PcDV, esto requiere que los usuarios sostengan el dispositivo en sus manos todo el tiempo, y que ellos mismos reciban un entrenamiento que les facilite la búsqueda de botones o lugar de la pantalla que requieren presionar, según el comando que ellos mismos deseen introducir. El reconocimiento de voz también se ha utilizado ampliamente [17], [27], [75], [76], [77], como un método de recibir información de un usuario. Este enfoque requiere menos atención por parte del usuario y es más natural. Sin embargo, los sonidos ambientales en el entorno pueden interferir con el sistema o pueden interferir cuando un usuario tenga una conversación con otra persona.

En la Tabla 1 se resume los principales hallazgos, encontrados en la literatura científica, en el afán de proporcionar una solución para asistir a PcDV en su movilización en ambientes interiores mediante el desarrollo de sistemas de RF.

III. PROPUESTA DE UN NUEVO SISTEMA PARA ASISTIR LA MOVILIZACIÓN DE PCDV, BASADO EN LA TECNOLOGÍA RFID

Con base en la revisión de la literatura presentada en este manuscrito, se sugieren algunas recomendaciones para el desarrollo de un sistema, basados en RF, para proporcionar ayudas a PcDV en su movilización y orientación autónoma en ambientes cerrados. También se considera la experiencia al respecto que posee el grupo de investigación que propone este nuevo sistema, para proporcionar soportes a estas personas [78], [79], [80], [81], [82].

A. Requerimientos Mínimos

Para permitir el desplazamiento de PcDV desde un punto a otro, es necesario diseñar y construir un dispositivo electrónico dedicado, que se ha denominado ETA (de las siglas en inglés de *Electronic Travel Aid*) [83], [84], [85]. Este dispositivo debe contar con los requerimientos de hardware que le permitan al usuario interactuar con el entorno de manera segura y eficiente.

Primeramente, se considera que el sistema debe estar basado en la tecnología RFID, utilizando una matriz o malla de etiquetas RFID (pasivos y activos) (ver Fig. 4). Cada etiqueta debe contener su identificación y su localización de donde está

instalado con relación a un marco de referencia general de la planta o de la zona en donde esté (dependiendo de la complejidad del edificio). Considerando la interacción efectiva entre el dispositivo ETA, que portará la PcDV, y las etiquetas RFID, se obtendrá información acerca de la ubicación del usuario dentro de ese entorno. Para esto, debe existir una base de datos con la información de cada etiqueta RFID. El lector de etiquetas RFID (ETA) puede ser montado en un bastón, como se ha hecho en diversos trabajos presentados en la Tabla 1, pero también, se tiene en consideración el diseño y fabricación de un dispositivo de comunicación de manos libres, con auriculares de conducción ósea inalámbricos, para darle mayor libertad al usuario. En cualquier caso, el diseño debe ser útil para personas con diversas habilidades. Este debe ser simple e intuitivo, independientemente de la experiencia del usuario, los conocimientos, las habilidades lingüísticas o el nivel de concentración actual. El objetivo es que el diseño de este sistema de comunicación de manos libres sea capaz de enviar la información necesaria de manera efectiva al usuario, independientemente de las condiciones ambientales.

El sistema propuesto debe ser capaz de ofrecer varias ayudas para la navegación autónoma de PcDV en interiores de edificios, cumpliendo con los siguientes requerimientos:

- Proporcionar la localización/ubicación del usuario.
- Mantener al usuario dentro de una ruta segura.
- Proporcionar información sobre giros y obstáculos en el camino.
- Debe poder guiar a la persona a su destino final.

Además, se ha considerado el desarrollo de las siguientes características complementarias para el sistema propuesto:

- Verificar la dirección correcta (útil si el usuario tiene una eventualidad o está desorientado).
- Proveer información general y específica del entorno.
- Contar con un módulo de planificación de ruta.

B. Etiquetas, Frecuencia y Estándares Recomendados

En el caso del sistema propuesto en este manuscrito, se han considerado etiquetas RFID pasivas [91], [92] (las etiquetas activas se instalarán posteriormente) en diversas presentaciones (tarjetas de PVC, llaveros y pegatinas o *stickers*) para el estándar ISO 14443 (*Proximity-Coupling Smart Cards*) [93], [94], las cuales son por lo general tarjetas inteligentes sin contacto con un alcance aproximado de 7–15 cm y el ISO 45693 (*Vicinity-Coupling Smart Cards*) [95], con un alcance de hasta 1 m. Ambos estándares describen los parámetros de funcionamiento de las tarjetas inteligentes de acoplamiento de proximidad sin contacto [93], [94], [95], [96], [97]. Se considera la frecuencia 13.56 MHz, por ser el más utilizado para los sistemas RFID. Además, se debe recordar que esta frecuencia ha sido designada por la Unión Internacional de las Telecomunicaciones como banda ISM (*Industrial, Scientific and Medical*). En cuanto al lector, se propone el módulo RFID-RC22, el cual funciona como lector y grabador de etiquetas RFID. Este módulo utiliza un sistema de modulación de 13.56

TABLA I
PROYECTOS BASADOS EN RFID PARA ASISTIR A PCDV EN SU MOVILIZACIÓN EN AMBIENTES INTERIORES

Proyecto / Autores	Localización	Navegación y orientación	Detección de objetos	Planeación de la ruta	Realimentación	Entrada
RadioVirgilio/SesamoNet [10]	Detección directa (RFID)	RFID	Bastón con lector RFID		Audio (Sintetizador de voz), auriculares Bluetooth	
IAAS [59]	Detección directa (RFID) Huella digital	RFID	Huella digital (RSSI)			
RG-I [21]	Detección directa (RFID)	RFID	Robot que utiliza el método de campo de potencial Bastón con lector RFID	Jerarquía semántica espacial (Spatial Semantic Hierarchy - SSH) [88], [89]	Tacto Audio	Sonido (lenguaje)
RF-PATH-ID [71]	Detección directa (RFID)	RFID	Cinturón NAVCOM Zapato		Tacto Vibración	
PERCEPT [18]	Detección directa (RFID)	RFID	Bastón y guante	Ruta más corta	Audio	Kiosks, Tacto (guante)
Ivanov, et al. [48]	Huella digital	RFID	Bastón		Audio Vibración, Audio (Sintetizador de voz)	Caja de mano de 4 botones
SmartVision/Blavigator [9]	Detección directa (RFID)	GIS with GPS, Wi-Fi, RFID	Bastón con lector RFID	GIS con GPS, Wi-Fi, RFID	Tacto (Pantalla Braille)	
Nassih, et al. [68]	Detección directa (RFID)	RFID	Bastón con lector RFID		Audio	
Chumkamon, et al. [17]	Detección directa (RFID)	RFID, GPRS	Bastón con lector RFID	Ruta más corta	Audio	
Tsirmpas, et al [8]	Detección directa (RFID)	RFID, Bluetooth, Wifi	Lector de RFID y sensores ultrasónicos módulo portable	Ruta más corta	Audio	
Tandon, et al. [86]	Detección directa (RFID)	RFID	Bastón con lector RFID		Audio	
Ding, et al [87]	Detección directa (RFID)	RFID	Bastón con lector RFID	Ruta más corta (Algoritmo de Dijkstra) [90]	Audio	Audio

MHz [98] y se comunica mediante la interfaz SPI (*Serial Peripheral Interface*), un estándar de comunicaciones usado principalmente para la transferencia de información entre circuitos integrados en equipos electrónicos, el cual, se puede implementar con cualquier micro-controlador.

C. Modelo Conceptual Propuesto para la Navegación

La Fig. 4 muestra una planta del edificio E del Centro Regional de Azuero (CRUTA) de la Universidad Tecnológica de Panamá (UTP), como ejemplo del área de experimentación primaria, para la realización de diversas pruebas experimentales, para la evaluación y validación del sistema propuesto. Las etiquetas RFID se presentan en pequeños puntos de color rojo, separadas 1.25 m, las cuales formarán una ruta de tránsito para la realización de las experimentaciones. Este espaciamiento entre etiquetas se debe a que durante el primer conjunto de experimentos se utilizaron tarjetas pasivas de alta frecuencia que, teóricamente, tienen una cobertura de hasta 1.5 m. Por lo tanto, se decidió utilizar un espaciamiento de 1.25 m para asegurar el correcto funcionamiento del sistema.

La Fig. 5 muestra una matriz de localización superpuesta sobre la planta del Edificio E del CRUTA, en donde se referencian las etiquetas RFID con relación al marco de referencia cartesiano X-Y presentado, en términos de coordenadas absolutas. Cada etiqueta RFID está dentro de la localización de una y solo una celda de la matriz.

El sistema de navegación funcionará de la siguiente manera, en primer lugar, se construirá una matriz definida que comprenda el plano completo de la planta del Edificio E (ver

Fig. 5). Las celdas de la matriz que contengan las etiquetas RFID serán valoradas con “unos” y las celdas sin las etiquetas, con “ceros”. Todos los lugares (celdas), con posibles rutas de navegación, serán almacenadas en un arreglo. Se creará un algoritmo que le indique a la persona la ruta desde una coordenada o índice de la celda a otra, dentro de la matriz propuesta, siguiendo la ruta que será indicada por celdas con "unos" y evitando los "ceros", dentro del arreglo que comprende la ruta seleccionada.

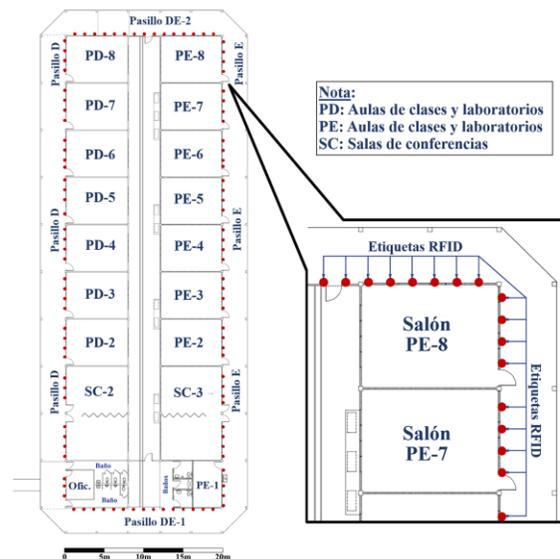


Fig. 4. Mapa del edificio E del CRUTA con ubicación propuesta de etiquetas RFID que formarán una ruta de tránsito para la experimentación.

Una vez construida la matriz, se hará lo siguiente:

- Se calcularán y evaluarán todas las rutas posibles para ir de un punto a otro dentro de la matriz.
- Se seleccionará la ruta más corta, siendo aquella que recorre la menor cantidad de casillas.
- Se almacena esta ruta dentro de un arreglo en una base de datos.
- Cuando la persona requiera ir de un punto "A" a un punto "B", se buscará en la base de datos la ruta óptima calculada previamente por el sistema, se evita usar un algoritmo en tiempo real. La primera propuesta de este sistema se delimita a hacer consultas a la base de datos, evitando en cálculo constante de rutas requeridas.
- La resolución de la matriz, es decir, la cantidad de índices o celdas que contenga tiene dependencia directa de la distancia de detección efectiva entre la etiqueta RFID y el dispositivo ETA que contiene el lector de RFID.
- Considerando espacios con escaleras y múltiples niveles, se diseñará una matriz multidimensional, que consta de múltiples capas de matrices en 2D, adaptadas a las plantas y con subíndices específicos para cada una ellas.

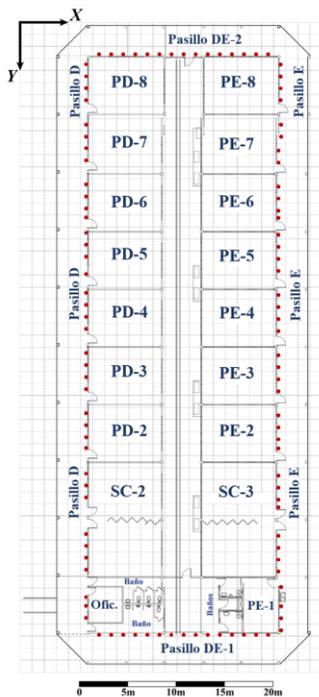


Fig. 5. Matriz de localización sobre el área de experimentación.

El algoritmo que calculará las rutas y escoja la ruta óptima para almacenarla en la base de datos es un caso interesante de estudio. Una opción posible es evaluar todas las combinaciones que puedan darse dentro de la matriz [99], [100]. Eso llevará un costo computacional grande en tiempo y recursos, pero una computadora con altas prestaciones lo lograría en un tiempo razonable. Además, hay que recordar que es un cálculo que solo se realiza una vez. Sin embargo, considerando que esta no es la mejor opción, se adoptarán otros algoritmos de la literatura [101], los cuales serán adaptados para calcular la ruta más corta, para el caso específico presentado en esta propuesta.

D. Otras Tecnologías en el Sistema Propuesto

El diseño de la base de datos, que contiene la localización de las etiquetas RFID dentro de la matriz, debe ser realizada de manera coherente para que la búsqueda de la localización de las etiquetas en conjunto con los posibles arreglos de las rutas interactúe eficientemente. Además de otra información relevante que deba contener estas etiquetas. Adicionalmente, se diseñará un sistema de comunicación entre la base de datos y el ETA, que contará con una tarjeta con microprocesador, módulos de memoria y módulos de comunicación WiFi, para establecer una comunicación eficiente.

También, con relación a la retroalimentación de información que se debe proporcionar al usuario, se tiene en cuenta la forma de comunicación que se requiere. Se considera la utilización de señales o mensajes de audio, para ello se utilizarán audífonos de conducción ósea Bluetooth, por lo que, el dispositivo ETA, tendrá instalado módulos Bluetooth, para establecer la comunicación entre el usuario y el sistema. De igual forma, se ha tomado en cuenta la utilización de señales de vibraciones sutiles, con la finalidad de avisar al usuario de ciertas eventualidades que puedan aparecer durante su movilización. Para ello se considera la implementación de micromotores de vibración de unos 8 mm de diámetro y unos 3.4 mm de grosor.

El sistema propuesto con base en la tecnología RFID para localización y navegación de PcDV podría complementarse con balizas Bluetooth y sensores ultrasónicos. La idea principal, sería la de proporcionar un valor añadido al sistema original. Sin embargo, esto debe ser evaluado con mayor detalle, tomando como referencia encuestas específicas realizadas a las PcDV, para conocer su opinión de primera mano. Por lo tanto, estos conceptos serán revisados posteriormente a la puesta en marcha del sistema propuesto inicialmente.

Otra idea complementaria, para evitar situaciones en las que el usuario abandone las zonas de influencia efectiva de las etiquetas RFID, sería considerar el uso de acelerómetros y giroscopios, los cuales permitirán estimar la ubicación de una PcDV dentro de una ruta a partir de los movimientos detectados por los sensores que ella porta (navegación por estima - *dead reckoning*). Esta opción es muy popular en el desarrollo de sistemas de navegación para vehículos autónomos y puede representar un importante complemento para el sistema basado en RFID, dado que permitirá contar con un respaldo en caso de fallas o desbordamientos del sistema. Esto, por supuesto, conlleva el desarrollo y uso de algoritmos más complejos y exige la utilización de componentes de hardware con una mayor capacidad de procesamiento para la interpretación de los datos captados por los sensores. Al igual que los conceptos presentados en el párrafo anterior, esta idea será tomada en consideración para la siguiente etapa de desarrollo del sistema.

IV. CONCLUSIÓN

Este artículo describe las principales contribuciones desarrolladas para ayudar a las (PcDV) en su movilización en entornos de interiores de edificios, haciendo uso de la tecnología, especialmente con base en sistemas de comunicación por RF. Además, se han identificado otras tecnologías y metodologías que se han estado utilizando para la movilización de estas personas en entornos cerrados. Sin embargo, estos sistemas presentan algunas desventajas

evidentes. Por ejemplo, el dispositivo de mayor uso por las PcDV es el bastón blanco, el cual ha sido instrumentado con diversos tipos de sensores por varios grupos de investigación, haciendo que el usuario manifieste disconformidad, ya que debe adecuarse a otro uso del bastón diferente a su entrenamiento inicial, además de que el sistema puede enviar información imprecisa de lo que se detecta, provocando errores en la toma de decisiones en la movilización. Adicionalmente, ha sido evaluado que las señales de RF son bloqueadas o atenuadas por el cuerpo humano, además de las señales de ultrasonido y las de señales IR, y más aún cuando una zona de un edificio está atestada de personas, por lo tanto, hace que estos sistemas sean un tanto ineficientes.

Con base en la revisión realizada en este artículo, se propone un sistema que consiste en una malla de etiquetas RFID, una base de datos con información de cada etiqueta y de rutas de navegación generadas previamente, y de un dispositivo electrónico que porta la PcDV (ETA), el cual contendrá un lector de RFID, una interfaz o asistente personal que le permitirá al usuario recibir y enviar información al sistema, una tarjeta microcontroladora, módulos de RF, dispositivos de memoria, entre otros dispositivos. El objetivo es que la PcDV pueda movilizarse de manera autónoma en interiores de edificios, mientras conoce su posicionamiento propio en el espacio (orientación).

Una mejora posible al trabajo presentado sería la adaptación de otros sensores y técnicas de navegación dentro del sistema original, ofreciéndole un valor añadido, con la finalidad de evitar algunos errores que se puedan producir cuando se interactúe en el entorno real, diferente al entorno controlado que hay durante las pruebas experimentales del sistema.

REFERENCIAS

- [1] D. García Moreno, "Diseño de sistemas de orientación espacial: wayfinding", in *Acces. Univ. y Dis. para Todos. Arq. y Urbanismo*. Fund. ONCE y Fund. Arquít. COAM, España, 2011, pp. 36-57.
- [2] P. López Pereda, "Diseño arquitectónico para todas las personas", in *Acces. Univ. y Dis. para Todos. Arq. y Urbanismo*. Fund. ONCE y Fund. Arquít. COAM, España, 2011, pp. 82-105.
- [3] ONCE, "Desplazamiento por espacios interiores", in *Discapacidad visual y autonomía personal: enfoque práctico de la rehabilitación*, 1st ed., España, 2011, pp. 516-531.
- [4] A. Pereira, N. Nunes, D. Vieira, N. Costa., H. Fernandes and J. Barroso, "Blind Guide: An ultrasound sensor-based body area network for guiding blind people." *Procedia Comput. Sci.*, 67, pp.403-408, 2015.
- [5] M. Bousbia-Salah, M. Bettayeb and M. Larbi, "A navigation aid for blind people." *J. Intell. & Robot. Sys.*, vol. 64, no. 3-4, pp.387-400, Dec. 2011.
- [6] I. Ulrich and J. Borenstein." The GuideCane-applying mobile robot technologies to assist the visually impaired." *IEEE Trans. Systems, Man, and Cybern., Part A: Systems and Humans*, vol. 31, no. 2, pp.131-136, 2001.
- [7] L. Hakobyan, J. Lumsden, D. O'Sullivan and H. Bartlett. "Mobile assistive technologies for the visually impaired." *Survey of ophthalmology*, vol. 58, no. 6, pp.513-528, 2013.
- [8] C. Tsirmpas, A. Rompas, O. Fokou and D. Koutsouris. "An indoor navigation system for visually impaired and elderly people based on Radio Frequency Identification (RFID)." *Inf. Sci.*, vol. 320, pp.288-305, 2015.
- [9] H. Fernandes, V. Filipe, P. Costa and J. Barroso. "Location based services for the blind supported by RFID technology." *Procedia Comput. Sci.*, 27, pp.2-8, 2014.
- [10] E. D'Atri, C.M. Medaglia, A. Serbanati, U.B. Ceipidor, E. Panizzi and A. D'Atri. "A system to aid blind people in the mobility: A usability test and its results." *In Syst. ICONS'07*, pp. 35-35, Abr. 2007.
- [11] N. Fallah, I. Apostolopoulos, K. Bekris and E. Folmer. "Indoor human navigation systems: A survey." *Interacting with Comput.*, vol. 25, no. 1, pp.21-33, 2013.
- [12] C. Fischer, K. Muthukrishnan, M. Hazas and H. Gellersen. "Ultrasound-aided pedestrian dead reckoning for indoor navigation." *In Proc. 1st ACM Intl. work. MELT'08 in GPS-less environments*, Sep. 2008, pp. 31-36.
- [13] T. Höllerer, D. Hallaway, N. Tinna and S. Feiner. "Steps toward accommodating variable position tracking accuracy in a mobile augmented reality system." *In 2nd Intl. Workshop on Artificial Intell. in Mobile Syst. (AIMS'01)*, Aug. 2001, pp. 31-37.
- [14] S. Koide and M. Kato. "3-D human navigation system considering various transition preferences." *In Syst., Man and Cybern., IEEE Intl. Conf.*, pp. 859-864, 2005.
- [15] G. Retscher and M. Thienelt. "NAVIO—a navigation and guidance service for pedestrians." *J. Global Position. Sys.*, vol. 3, no. 1-2, p.208-217, 2004.
- [16] H. Wu, A. Marshall and W. Yu. "Path planning and following algorithms in an indoor navigation model for visually impaired." *In Internet Monitoring and Protection*, 2007, pp. 38-38.
- [17] S. Chumkamon, P. Tuvaphanthaphiphat and P. Keeratiwintakorn. "A blind navigation system using RFID for indoor environments." *In Electr. Eng./Electron., Comput., Telecommun. and Inf. Technol.*, 2008, pp. 765-768.
- [18] A. Ganz, J. Schafer, S. Gandhi, E. Puleo, C. Wilson and M. Robertson. "PERCEPT indoor navigation system for the blind and visually impaired: architecture and experimentation." *Intl. J. of Telemed. and Appl.*, pp. 1-12, 2012.
- [19] S. Willis and S. Helal. "RFID information grid and wearable computing solution to the problem of wayfinding for the blind user in a campus environment." *In IEEE Intl. Symp. on Wearable Comput.*, pp. 1-4, Oct, 2005.
- [20] Y. Duroc and S. Tedjini, "La RFID une Technologie Clé au Service de l'Humanité. RFID: a Key Technology for Humanity," *Comptes Rendus Physique*, vol. 19, iss. 1-2, pp. 64-71, Feb. 2018.
- [21] V. Kulyukin, C. Gharpure, J. Nicholson and G. Osborne. "Robot-assisted wayfinding for the visually impaired in structured indoor environments." *Auton. Robots*, 21(1), pp. 29-41, 2006.
- [22] P. Solanki, (2010) "Passive vs active rfid tags." Internet: <https://www.buzzle.com/articles/rfid-technology/>.
- [23] N.C Wu, M.A. Nystrom, T.R. Lin and Yu, H.C., 2006, July. "Challenges to global RFID adoption." *In Technol. Manag. for the Global Future*, Vol. 2, pp. 618-623, 2006.
- [24] T. Amemiya, J. Yamashita, K. Hirota and M. Hirose. "Virtual leading blocks for the deaf-blind: A real-time way-finder by verbal-nonverbal hybrid interface and high-density RFID tag space." *In Virtual Reality, Proc.*, pp. 165-287. Mar. 2004.
- [25] M. A. Sáenz Correa, "Sistema de posición y orientación móvil parapersonas ciegas en ambientes cerrados", M.S. thesis, Depto. Ciencias de la Computación, Univ. de Chile, 2009.
- [26] H. Liu, H. Darabi, P. Banerjee and J. Liu. "Survey of wireless indoor positioning techniques and systems." *IEEE Trans. Systems, Man, and Cybern., Part C (Apps and Reviews)*, 37(6), pp.1067-1080, 2007.
- [27] L. Ran, S. Helal and S. Moore. "Drishti: an integrated indoor/outdoor blind navigation system and service." *In Pervasive Computing and Communications*, 2004, pp. 23-30. 2004.
- [28] N. B. Priyantha, A. Chakraborty and H. Balakrishnan. "The cricket location-support system." *In Proc. MobiCom00*, 2000, pp. 32-43.
- [29] L. Ran, S. Helal and S. Moore. "Drishti: an integrated indoor/outdoor blind navigation system and service." *In Pervasive Comput. and Commun.*, 2004, pp. 23-30.
- [30] K. Lorincz, and M. Welsh, "A Robust, Decentralized Approach to RF-Based Location Tracking." Harvard University, Cambridge, MA, Tech. Rep. TR-19-04, 2004.
- [31] H. Huang, G. Gartner, M. Schmidt and Y. Li. "Smart environment for ubiquitous indoor navigation." *In Intl. Conf. on New Trends in Inf. and Service Sci.*, 2009, pp. 176-180.
- [32] Z. Zuo, L. Liu, L. Zhang and Y. Fang. "Indoor Positioning Based on Bluetooth Low-Energy Beacons Adopting Graph Optimization." *Sensors*, vol. 18, no. 11, pp. 3736, 2018.
- [33] Y.J. Chang, S.K. Tsai and T.Y. Wang. "A context aware handheld wayfinding system for individuals with cognitive impairments." *In Proc. 10th Intl. ACM SIGACCESS Conf. Comp. and Access.*, 2008, pp. 27-34.
- [34] M. Bessho S. Kobayashi, N. Koshizuka and K. Sakamura. "A space-identifying ubiquitous infrastructure and its application for tour-guiding service." *In Proc. 2008 ACM Symp. App. Comp.*, 2008, pp. 1616-1621.

- [35] P. Zheng and L. Ni. "Smart phone and next generation mobile computing", Ed. Elsevier. San Francisco, CA, USA: 2005.
- [36] F. Franceschini, M. Galetto, D. Maisano, L. Mastrogiacomo, and B. Pralio, "Large-scale dimensional metrology: the new paradigm of distributed systems", In *Distrib. Large-Scale Dimensional Metrology*. London, UK: Springer, 2011, pp.1-22
- [37] J. Kang, J. Seo, and Y. Won, "Ephemeral ID beacon-based improved indoor positioning system", *Symmetry*, vol. 10, no. 11, pp. 622-634, Nov. 2018.
- [38] V. Filipe, F. Fernandes, H. Fernandes, A. Sousa, H. Paredes, and J. Barroso. "Blind navigation support system based on Microsoft Kinect." *Procedia Comput. Sci.*, 14, pp. 94-101, 2012.
- [39] J. Baus, A. Krüger and W. Wahlster. "A resource-adaptive mobile navigation system." *In Proc. 7th Intl. Conf. Intel. U. Int.*, 2002, pp. 15-22.
- [40] V. Tsetsos, C. Anagnostopoulos, P. Kikiras and S. Hadjiefthymiades. "Semantically enriched navigation for indoor environments." *Intl. J. Web and Grid Services*, vol. 2, no. 4, pp.453-478, 2006.
- [41] A.R. Golding and N. Lesh. "Indoor navigation using a diverse set of cheap, wearable sensors." *In Wearable Comput., The Third Intl. Symp.*, 1999, pp. 29-36.
- [42] A. Hub, J. Diepstraten and T. Ertl. "Design and development of an indoor navigation and object identification system for the blind." *In ACM Sigaccess Access. and Comput.*, no. 77-78, pp. 147-152, Oct. 2004.
- [43] J. Rajamäki, P. Viinikainen, J. Tuomisto, T. Sederholm and M. Säämänen. "LaureaPOP indoor navigation service for the visually impaired in a WLAN environment." *In Proc. 6th WSEAS Intl. Conf. Electron., Hardware, Wireless and Opt. Commun.*, 2007, pp. 96-101.
- [44] G. Retscher and M. Thienelt. "NAVIO—a navigation and guidance service for pedestrians." *Positioning*, vol. 3, no. 1-2, pp. 208-217, 2004.
- [45] J. Hightower and G. Borriello. "Location systems for ubiquitous computing." *Comput.*, vol. 34, no. 8, pp. 57-66, 2001.
- [46] M.A. Williams, A. Hurst, and S.K. Kane. "Pray before you step out" describing personal and situational blind navigation behaviors." *In Proc. 15th Intl. ACM SIGACCESS Conf. Comput. and Access.*, pp. 1-8, 2013.
- [47] L.A., Guerrero, F. Vasquez, and S. F. Ochoa. "An indoor navigation system for the visually impaired." *Sensors* vol. 12, no. 6, pp. 8236-8258, 2012.
- [48] R. Ivanov, "Indoor navigation system for visually impaired", in *Proc. 11th Intl. Conf. on Comput. Syst. and Technol. and Workshop for PhD Students in Comput.*, Sofia, Bulgaria, 2010, pp. 143-149.
- [49] J.M. Benjamin and N.A. Ali, 1974, March. "An improved laser cane for the blind", in *Proc. Quantitative Imagery in the Biomed. Sci. II*, Vol. 40, San Diego, USA, 1974, pp. 101-105.
- [50] Q. K. Dang, Y. Chee, D. D. Pham, and Y. S. Suh. "A virtual blind cane using a line laser-based vision system and an inertial measurement unit." *Sensors*, vol. 16, no. 1, pp. 95, 2016.
- [51] L. Kay. "A sonar aid to enhance spatial perception of the blind: engineering design and evaluation." *Radio and Electron. Eng.*, vol. 44, no. 11, pp.605-627, 1974.
- [52] K. Ito, M. Okamoto, J. Akita, T. Ono, I. Gyobu, T. Takagi, T. Hoshi and Y. Mishima. "CyARM: an alternative aid device for blind persons." *In CHI'05 Extended Abstracts on Human Factors in Comput. Syst.*, pp. 1483-1488, Apr. 2005.
- [53] N. Pressey. "Mowat sensor." *Focus*, vol. 11, no. 3, pp.35-39, 1977.
- [54] A.G. Dodds. "The sonic pathfinder: An evaluation." *J. of Visual Impairment and Blindness*, vol. 78, no. 5, pp.203-206, 1984.
- [55] J.A. Brabyn. "New developments in mobility and orientation aids for the blind." *IEEE Trans. Biomed. Eng.*, vol. 4, pp.285-289, 1982.
- [56] L. Kay. "Electronic aids for blind persons: an interdisciplinary subject." *IEE Proc. A - Phys. Sci., Meas. and Instrum., Manag. and Educ. Reviews*, vol. 131, no. 7, pp. 559-576, 1984.
- [57] S. Vorapatorn, and K. Nambunmee. "iSonar: an obstacle warning device for the totally blind." *J. of Assistive, Rehabilitative & Therapeutic Technol.*, vol. 2, no. 1, pp. 23114, 2014.
- [58] C. Khamachua, C. Wongrajit, R. Waranusast, and P. Pattanathaburt. "Wrist-mounted smartphone-based navigation device for visually impaired people using ultrasonic sensing." *In 2016 Fifth ICT Intl. Student Project Conf. (ICT-ISPC) IEEE*, pp. 93-96, 2016.
- [59] F. Xiao, Q. Miao, X. Xie, L. Sun and R. Wang. "Indoor anti-collision alarm system based on wearable Internet of Things for smart healthcare." *IEEE Commun. Magazine*, vol. 56, no. 4, pp.53-59, 2018.
- [60] C. P. Chen, J. Zhou, and W. Zhao. "A real-time vehicle navigation algorithm in sensor network environments". *IEEE Trans. Intell. Transp. Syst.*, 13(4), pp. 1657-1666, 2012.
- [61] S. Storandt, "Algorithms for vehicle navigation", *Faculty of Comput. Sci. Elect. Eng. Inform. Technol.*, Dec. 2012.
- [62] E. Apostolopoulos, N. Fallah, E. Folmer and K.E. Bekris. "Feasibility of interactive localization and navigation of people with visual impairments." *In Proc. 11th IEEE IAS-10*, pp.22-32, 2010.
- [63] Zeng, L., & Weber, G. (2011). "Accessible maps for the visually impaired." *In Proc. IFIP Interact 2011 Workshop on ADDW*, pp. 54-60.
- [64] O. Koch and S. Teller. "A Self-calibrating, vision-based navigation assistand", in *Workshop on Comput. Vision Appl. for the Visually Impaired*, Marseille, Francia, 2008.
- [65] J.M. Loomis, R.G. Golledge and R.L. Klatzky. "Navigation system for the blind: Auditory display modes and guidance." *Presence*, vol. 7, no. 2, pp.193-203, 1998.
- [66] R. Etter and M. Specht. "Melodious walkabout: Implicit navigation with contextualized personal audio contents", in *Proc. Pervasive Comput.*, pp. 43-49, 2005.
- [67] S. Holland, D.R. Morse and H. "Gedenryd. AudioGPS: Spatial audio navigation with a minimal attention interface." *Personal and Ubiquitous Comput.*, vol. 6, no. 4, pp.253-259, 2002.
- [68] M. Nassih, I. Cherradi, Y. Maghous, B. Ouriaghli and Y. Salih-Alj. "Obstacles recognition system for the blind people using RFID." *In 6th Intl. Conf. NGMAST*, 2012, pp. 60-63.
- [69] T. Amemiya, J. Yamashita, K. Hirota and M. Hirose. "Virtual leading blocks for the deaf-blind: A real-time way-finder by verbal-nonverbal hybrid interface and high-density RFID tag space." *In Virtual Reality*, 2004, pp. 165-287.
- [70] W. Heuten, N. Henze, S. Boll and M. Pielot. "Tactile wayfinder: a non-visual support system for wayfinding." *In Proc. 5th Nordic Conf. Human-Comput. Interaction: Building Bridges*, pp. 172-181, 2008.
- [71] S. Willis and S. Helal. "RFID information grid and wearable computing solution to the problem of wayfinding for the blind user in a campus environment." *In IEEE Intl. Symp. Wearable Comp. (ISWC 05)*, 2005.
- [72] S. Ertan, C. Lee, A. Willets, H. Tan and A. Pentland, 1998, October. "A wearable haptic navigation guidance system." *In Wearable Comput.*, 1998, pp. 164-165.
- [73] H. Petrie, V. Johnson, T. Strothotte, A. Raab, S. Fritz and R. Michel. "MoBIC: Designing a travel aid for blind and elderly people." *The J. of Navig.*, vol. 49, no. 1, pp.45-52, 1996.
- [74] K. Nakamura, Y. Aono and Y. Tadokoro. "A walking navigation system for the blind." *Syst. and Comput. in Japan*, vol. 28, no. 13, pp.36-45, 1997.
- [75] B. Huang and N. Liu. "Mobile navigation guide for the visually disabled." *Transp. Res. Record: J. of the Transp. Res. Board*, vol. 1885, no. 1, pp.28-34, 2004.
- [76] M. Arikawa, S.I. Konomi and K. Ohnishi. "NAVITIME: Supporting pedestrian navigation in the real world." *IEEE Pervasive Comput.*, vol. 6, no. 3, 2007.
- [77] M.L. Mekhalfi, F. Melgani, A. Zeggada, F.G. De Natale, M.A.M. Salem and A. Khamis. "Recovering the sight to blind people in indoor environments with smart technologies." *Expert Syst. with Appl.*, vol. 46, pp.129-138, 2016.
- [78] H. Montes, I. Chang, G. Carballada, J. Muñoz, A. García, R. Vejarano, M. Armada, "MOVIDIS: first steps toward help the mobility of people with visual disability in Panama", in *Proc. RoboCity16 Open Conf. on Future Trends in Robot.*, Madrid, Spain, 2016, pp. 211-218.
- [79] G. Carballada, A. Arcia, R. Pérez, y H. Montes, "Aplicación móvil para el monitoreo de personas con discapacidad visual", in *Proc. ATICA 2016*, Cuenca, Ecuador, 2016, pp. 93-100.
- [80] H. Montes, I. Chang, G. Carballada, J. Muñoz, A. García, R. Vejarano, and Y. Saez, "Design of a System to Support the Mobility of Visually Impaired People", in *Proc. CLAWAR 2018*, Panama, 2018, pp. 37-44.
- [81] Y. Sáez, J. Muñoz, F. Canto, A. García, and H. Montes, "Assisting Visually Impaired People in the Public Transport System through RF-Communication and Embedded Systems", *Sensors*, vol. 19, no. 6, pp. 1282-1295, Mar. 2019. DOI: 10.3390/s19061282, [Online].
- [82] H. Montes, I. Chang, G. Carballada, J. Muñoz, Y. Saez, R. Vejarano, and A. García, "Conceptual design of technological systems for the mobility of visual impairment people in indoor buildings", in *Proc. IESTEC 2019*, Panama, 2019, pp. 1-6. [Online].
- [83] D. H. Yen, "Electronic Travel Aids for the Blind", Texas School for the Blind and Visually Impaired, Austin, TX, USA, Oct. 11, 1996. [Online]. Available: <https://www.tsbvi.edu/orientation-and-mobility-items/1974-electronic-travel-aids-for-the-blind>.
- [84] S. Maidenbaum, S. Hanassy, S. Abboud, G. Buchs, D. R. Chebat, S. Levy-Tzedek and A. Amedi. "The EyeCane, a new electronic travel aid for the

blind: Technology, behavior and swift learning.” *Restorative Neurol. and Neurosci.*, vol. 32, no. 6, pp. 813-824, 2014.

- [85] L. Kim, S. Park, S. Lee and S. Ha. “An electronic traveler aid for the blind using multiple range sensors.” *IEICE Electron. Express*, vol. 6, no. 11, pp. 794-799, 2009.
- [86] K. Tandon, T. Pande, M. Adil, G. Dubey and A. Kumar. “A blind navigation system using RFID for indoor environments.” *Intl. J. of Comput. Syst.*, vol. 2, no. 4, pp. 115-118, 2015.
- [87] B. Ding, H. Yuan, L. Jiang, and X. Zang. “The research on blind navigation system based on RFID.” *In Wireless Commun., Network. and Mobile Comput.*, 2007, pp. 2058-2061.
- [88] B. Kuipers, R. Browning, B. Gribble, M. Hewett and E. Remolina. “The spatial semantic hierarchy.” *Artificial Intell.*, 2000.
- [89] B. Kuipers. “An intellectual history of the spatial semantic hierarchy.” *In Robotics and cognitive approaches to spatial mapping*, pp. 243-264. Springer, Berlin, Heidelberg, 2007.
- [90] J. C. Chen, “Dijkstra’s shortest path algorithm.” *J. of Formalized Math.*, vol. 15, no. 9, pp. 237-247, 2003.
- [91] M. Bolic, D. Simplot-Ryl and I. Stojmenovic. “RFID systems: research trends and challenges.” *John Wiley & Sons*, 2010.
- [92] V. Chawla and D. S. Ha. “An overview of passive RFID”. *IEEE Commun. Magazine*, vol. 45, no. 9, pp. 11-17, 2007.
- [93] O. Bashan. “ISO14443 an Introduction to the contactless standard for smart cards and its relevance to customers”. On Track Innovations, Ltd (OTI). Report. 2001.
- [94] P. Roux. “The ISO/IEC 14443 cards standard.” *In Proc. of 6th International Conference on Automatic Fare Collection-new Horizons in Public Transport with Smart Cards*, Bologna, Italy, 2002.
- [95] D. Kou, K. Zhao, Y. Tao and W. Kou. “RFID technologies and applications”. *In Enabling Technol. for Wireless E-business*, pp. 89-108, Springer, Berlin, Heidelberg, 2006.
- [96] Finkenzerler, K. *RFID handbook: Fundamentals and applications in contactless smart cards, radio frequency identification and near-field communication*. John Wiley & Sons, 2010. Available: Google books.
- [97] D. Paret and R. Riesco. “RFID and contactless smart card applications”, pp. 91-93, New York: Wiley, 2005.
- [98] Kimaldi Electronics, [En línea]. Tecnología RFID activa. Available: https://www.kimaldi.com/blog/tecnologia_rfid_activa/.
- [99] J. Nievergelt. “Exhaustive search, combinatorial optimization and enumeration: Exploring the potential of raw computing power.” *In Intl. Conf. on Current Trends in Theory and Practice of Comput. Sci.*, pp. 18-35, Springer, Berlin, Heidelberg, 2000.
- [100] R. M. Karp. “On the computational complexity of combinatorial problems”. *Networks*, vol. 5, no. 1, pp. 45-68, 1975.
- [101] B. Golden. “Shortest-path algorithms: A comparison”. *Oper. Res.*, vol. 24, no. 6, pp. 1164-1168, 1976.



Yessica Sáez es doctora en Ingeniería Eléctrica por la Universidad de Texas A&M, EE. UU. Actualmente es profesora e investigadora en la Universidad Tecnológica de Panamá e investigadora asociada en el Centro de Estudios Multidisciplinarios de Ingeniería, Ciencias y Tecnología (CEMCIT AIP). La Dra. Sáez se especializa en sistemas embebidos,

electrónica digital, procesamiento de señales y las Smart Grids. Colabora en varios proyectos de investigación apoyados por SENACYT-Panamá. Es miembro del Sistema Nacional de Investigadores (SNI) de Panamá, de la Asociación Panameña para el Avance de la Ciencia (APANAC) de Panamá y la Vicepresidente de ComSoc y WIE del IEEE - Sección de Panamá.



Héctor Montes es doctor en Arquitectura de Computadores y Automática por la Universidad Complutense de Madrid. Actualmente es profesor e investigador en la Facultad de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Tecnológica de Panamá. Se especializa en electrónica, procesamiento de señales, visión artificial, sistemas de medición, sensores, control de fuerza, robots móviles, escaladores y con patas, TIC. Ha participado en más de 30 proyectos de I+D financiados por la UE, por España y Panamá. Ha sido autor en más de 100 artículos científicos. El Dr. Montes ha recibido varios premios y distinciones por la Universidad Tecnológica de Panamá, debido a su destacada carrera como investigador y docente. Además, es miembro del Sistema Nacional de Investigadores (SNI) de Panamá.



Antony García es Ingeniero Electromecánico por la Universidad Tecnológica de Panamá. Es investigador asistente y profesor en el departamento de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Tecnológica de Panamá, con experiencia en el campo de sistemas de energía eléctrica, sistemas embebidos e impresión 3D, electrónica y programación. Es el encargado del laboratorio de Tecnologías, Instrumentación y Prototipado de la Universidad Tecnológica de Panamá.



José Muñoz es Ingeniero Electromecánico egresado de la Universidad Tecnológica de Panamá. Es profesor en el Departamento de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Tecnológica de Panamá. El Sr. Muñoz posee experiencia en el campo de la electrónica y el control. Es el coordinador del Grupo de Investigación en Mecatrónica de la Universidad Tecnológica de Panamá.



Edwin Collado es doctor en Ingeniería Eléctrica por la Universidad Texas A&M, EE. UU. El Dr. Collado es investigador y docente en la Universidad Tecnológica de Panamá e investigador asociado en el Centro de Estudios Multidisciplinarios de Ingeniería, Ciencias y Tecnología (CEMCIT AIP). Sus áreas de interés incluyen las redes de telecomunicaciones, el modelado de sistemas y optimización, sistemas de automatización y control, sistemas embebidos, probabilidad y procesos aleatorios. Forma parte de distinguidos grupos de ciencia e ingeniería en Panamá como el Sistema Nacional de Investigadores (SNI) de Panamá, la Asociación Panameña para el Avance de la Ciencia (APANAC) y ComSoc del IEEE - Sección de Panamá. Ha recibido numerosas distinciones por su carrera como investigador, docente e innovador.



Rubén Mendoza es estudiante de Licenciatura en Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones en la Universidad Tecnológica de Panamá, donde pertenece al grupo de Ingeniería de Telecomunicaciones y Sistemas Inteligentes Aplicados a la Sociedad (ITSIAS), y participa actualmente en el Proyecto MOVIDIS-II, financiado por la

SENACYT-Panamá.