

White Cane with 4.0 Technology

Bastón para Invidentes con Tecnología 4.0

Raúl RAMIREZ^{1,2*}, René CRUZ², Elias RUIZ², Lauro VARGAS²

¹*Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares, México, Carretera México-Toluca S/N; La Marquesa, Ocoyoacac, Edo. de México, México*

²*Instituto Tecnológico Superior del Oriente del Estado de Hidalgo, México, Carretera Apan-Tepeapulco Km 3.5, Colonia las Peñitas, C.P. 43900, Apan Hidalgo, México*

¹ *raul.ramirez@inin.gob.mx*

² *rcruz@itesa.edu.mx,*

² *eruiz@itesa.edu.mx*

² *lvargas@itesa.edu.mx*

Sent date: 02/02/2022

Abstract:

The industrial revolution 4.0 has brought great progress for human activities, however, these new technologies should not exclude people with disabilities, but on the contrary, they should be used to achieve tools that help overcome the difficulties they face. This document details a system to enhance the potential of a common cane for the blind and integrate it into this revolution. The cane uses an ultrasonic sensor to detect objects when a blind person walks in an outdoor environment. When an object is detected, the system indicates it to the user by means of an audible signal and a vibration. The system is powered by a lithium-ion battery and occupies low-cost commercial components. The system detects about 84% of obstacles in a test environment and can be used for 2 hours.

Keywords: Blind, connectivity, battery, technology, ultrasonic.

Resumen:

La revolución industrial 4.0 ha traído grandes progresos para las actividades del ser humano, sin embargo, estas nuevas tecnologías no deben excluir a las personas con discapacidades, sino por el contrario, deben aprovecharse para lograr herramientas que ayuden a superar las dificultades que enfrentan estas personas. En este documento se detalla un sistema para realzar las potencialidades de un bastón común para invidentes e integrarlo a esta revolución. El bastón utiliza un sensor ultrasónico para detectar objetos cuando una persona invidente camine en un ambiente exterior. Cuando un objeto es detectado, el sistema se lo indica al usuario por medio de una señal audible y una vibración. El sistema es alimentado por una batería de iones de litio y ocupa componentes comerciales de bajo costo. El sistema detecta cerca del 84% de los obstáculos en un ambiente de prueba y se puede usar por 2 horas.

Palabras clave: Invidente, conectividad, batería, tecnología, ultrasónico.

* Corresponding author. E-mail: *raul.ramirez@inin.gob.mx*
Tel. +52 55 53297200

1. Introducción

La era de la tecnología digital inteligente cada vez invade más ámbitos de la vida del ser humano y nos sorprende día con día, integrando en mayor proporción lo físico con lo virtual, creando sistemas flexibles y que se adaptan fácilmente a los ambientes cambiantes. Aunque en un principio el objetivo eran las plantas de producción y manufactura (Nakagawa et al., 2021), el concepto revolucionario de la industria 4.0 cada vez encontró significado en otras áreas (Sony et al., 2021), sobre todo en aquellas donde se busca una menor intervención del ser humano y eficientar los procesos (Shrivastava et al., 2021).

Esto comenzó a ser una realidad al integrar sensores con sistemas de cómputo cada vez con mayor poder de cálculo y de menor tamaño, que permitieron no solo eficientar los procesos, al contar con grandes cantidades de datos, sino, además, agregar ventajas desconocidas hasta el momento, como reducción en gastos de mantenimiento o integrar sensores a procesos que anteriormente no era posible realizar ((Javaid et al., 2021).

Sin embargo, todas las bondades que ofrece la industria 4.0, no sólo deben pensarse para mejorar las actividades del ser humano que cuenta con todas sus capacidades, también los desarrollos deben extenderse a las personas con discapacidades. Esta revolución ofrece la oportunidad de encontrar herramientas que en el pasado solo fueron imaginadas y no se materializaron porque el poder de cómputo era precario y los dispositivos grandes, pesados y caros.

Por lo anterior, el propósito de este proyecto es desarrollar un bastón instrumentado, para que personas ciegas tengan una herramienta que les permita desplazarse por una calle y poder detectar obstáculos antes de siquiera tocarlos.

La motivación del proyecto surge por la cantidad de personas ciegas que hay en la población y que ha ido incrementándose; pues de 36 millones de invidentes en el año 2018, se pasó a 43 millones en el año 2020 (Organización Mundial de la Salud, 2020). México no está ajeno a esta problemática ya que en el año 2020 se reportaron 540 098 personas con ceguera, colocándose en tercer lugar en América con mayor cantidad de personas ciegas (The International Agency for the Prevention of Blindness, 2020).

El bastón es el elemento más usado que tienen los invidentes para transitar de forma autónoma de un lugar a otro, pues le permite evadir obstáculos en su camino, lo que le da un grado de autonomía aceptable. Por otro lado, si estas personas se hacen acompañar por otra persona o por un perro guía, por lo general, siempre llevarán su bastón, porque además de darles seguridad, lo consideran una extensión de sus manos. Esta situación refuerza el interés de este proyecto, para lograr que el bastón sea potencializado con tecnología 4.0.

Existen dispositivos comerciales para ayudar a mejorar el desplazamiento de personas ciegas en conjunto con un bastón, por ejemplo, el sistema israelí *OrCam* con visión 3D, el sistema italiano *Horus*, también con tecnología 3D para detectar obstáculos. Por otro lado, de los diseños que tratan de mejorar las características de un bastón para invidentes se tiene el bastón *WeWalk*, que utiliza sensores ultrasónicos en conjunto con un teléfono celular. Todos

estos sistemas tienen un precio que puede llegar a los 4000 euros y no se pueden conseguir fácilmente en México (Álvarez, 2019).

De los proyectos de investigación que se han reportado para mejorar las características del bastón para invidentes, usando sensores ultrasónicos, algunos los han colocado en la parte inferior del bastón y cuando se detecta un obstáculo, emiten un sonido hasta que el sensor encuentra un espacio vacío (Dey et al., 20108), (Khafar et al., 2019). En otros trabajos se utiliza más de un sensor, colocándolos a diferentes alturas en el bastón (Guimares et al., 2016). Ambos tipos de trabajos detallan mucho sus estrategias de detección, sin embargo, muy pocos proyectos comentan lo referente al uso con baterías de sus sistemas, tal como lo hacen Ghafoor et al. (2019).

Utilizar sensores ultrasónicos montados en un bastón para la detección de objetos es un tema recurrente porque las señales de ultrasonido son inmunes a los colores o a la falta de luz, por lo que, incluso, se ha experimentado para tratar de hacer sistemas para identificar objetos (Rajendra & Tasgaonkar, 2016), pero no es una práctica que haya tenido éxito, por lo que su mejor aplicación es la detección de objetos a distancia. Algunos autores han propuesto, incluso, colocarlos sobre el cuerpo de una persona para este fin (Lopes et al., 2012), (Sen et al., 2018).

2. Materiales y métodos

La revolución 4.0 implica que las cosas físicas se vean enriquecidas con la adición de sistemas digitales que hagan sobresalir sus ventajas. Por la naturaleza del proyecto, se buscó un equilibrio entre componentes de bajo costo y un bajo consumo de energía, ya que algunos proyectos sólo se han enfocado en el primer requerimiento y esto no ayuda para lograr sistemas alimentados por baterías (Parikh et al., 2015).

2.1 Diseño del sistema

Para potencializar un bastón para invidentes, se ha creado el sistema cuyo diagrama a bloques se muestra en la figura 1. La parte central es un sensor ultrasónico para la detección de objetos, el cual es controlado por un microcontrolador.

Para detectar un objeto, el sensor envía una señal de pulsos a una frecuencia de 40 kHz y espera para determinar si alguno de ellos regresa, lo que indicaría que hay un objeto próximo que reflejó la señal. La distancia, puede entonces, determinarse con el tiempo que tarda la señal en regresar empleando la ecuación 1.

$$Distancia = \frac{tiempoRetardo \times velocidadSonido}{2} \quad (1)$$

Para fines prácticos, se considera la velocidad del sonido igual a 0.03448 cm/μs, ya que el tiempo de retardo está en el rango de microsegundos. Esto es así porque la distancia de detección no suele ser mayor a 4 metros para sensores de bajo costo.

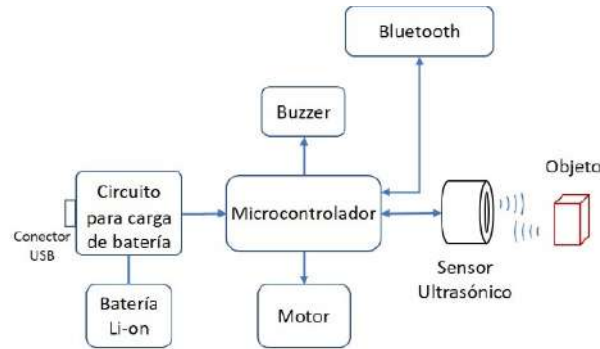


Figura.1 Diagrama a bloques para dotar a un bastón para invidentes con un detector de objetos a distancia.

Después de que se determina que hay un obstáculo, el usuario invidente es notificado por medio de vibraciones del motor vibrador y por medio de sonido al activarse el *buzzer*.

El sistema está diseñado para trabajar utilizando una batería recargable y por lo tanto, se ha buscado que su rendimiento sea el máximo posible, para que el sistema pueda emplearse en una situación real de movilidad de una persona invidente por las calles de una ciudad.

2.2 Sensor ultrasónico

El sensor ultrasónico empleado en este trabajo es el modelo JSN-SR04T y, tal como se muestra en la figura 2, contiene en el mismo encapsulado el elemento emisor y el elemento receptor de señales ultrasónicas. Esta condición lo hace adecuado para el prototipo porque solo se requiere una perforación para colocarlo y no dos, como en el caso donde el emisor está separado del transmisor.



Figura.2 Sensor ultrasónico a prueba de agua, con emisor y detector de señal en un solo componente. Fuente: Imagen propia.

La tarjeta electrónica para adecuar los pulsos de señal ultrasónica está separada del emisor/receptor, lo cual permite colocarla en el prototipo en la mejor posición para que éste no sea voluminoso.

Este sensor fue seleccionado, además, porque está sellado por la parte del frente, por lo que, si el usuario se encuentra bajo la lluvia, o por alguna razón le caen gotas de agua al bastón, éstas no le causarán daño. Otro punto que se tomó en cuenta es que el sensor puede conectarse en voltajes de 3.3 a 5 volts, por lo que puede ser alimentado directamente del voltaje de la batería y funcionar.

2.3 Microcontrolador

En este proyecto se utilizó un módulo NINA-B306, el cual es un circuito *bluetooth* 5 de Baja Energía (BLE), integrado con un CPU Arm Cortex M4 con FPU (Unidad de Punto Flotante). Está diseñado para trabajar con voltajes entre 1.7 y 3.6 volts con bajo consumo de corriente. Esto último es posible porque internamente el módulo trabaja a 1.3 volts. Todo esto está encapsulado en un chip de 1 cm², como se muestra en la figura 3.



Figura.3 Módulo NINA-B306, el cual contiene un CPU ARM Cortex M4, *bluetooth* de baja energía con antena integrada y 1 MB de memoria flash para el programa, en un chip de 1 cm².

El microcontrolador cuenta con 1 MB de memoria para almacenar el programa de control y 256 KB de memoria RAM para las variables. Actualmente se puede programar con el IDE propietario de U-Blox o con el IDE de la plataforma Arduino.

2.4 Actuadores

Para una persona invidente, el sentido del tacto es muy importante, por lo que, en este proyecto, además de generar una señal audible, se utilizó un motor vibrador para accionarse

cada vez que se detecta un obstáculo. Con este motor, el usuario siente en la mano una pequeña vibración que le indica que hay un obstáculo a unos pasos hacia donde apunta el bastón, por lo que debe prepararse para afrontarlo.

La figura 4 muestra el motor vibrador utilizado en el proyecto, el cual es semejante a los que se emplean en los teléfonos celulares, ya que, además de tener un tamaño pequeño, consumen una menor cantidad de corriente. El motor es activado utilizando un driver a base de transistor para proteger al microcontrolador.

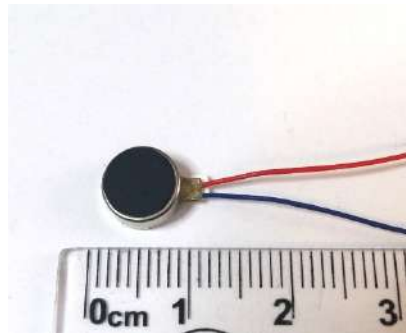


Figura. 4 Motor vibrador, similar al de un teléfono celular, para indicarle a un usuario invidente, por medio de vibraciones, que el sensor ultrasónico detectó un obstáculo.

2.5 Comunicación bluetooth

Una parte importante en la revolución industrial 4.0 es, que los sistemas tengan intrínseca conectividad con otros dispositivos; sea para compartir información o para tener un control distribuido.

En este caso, el bastón cuenta con conectividad *bluetooth* 5 de baja energía, porque el módulo del microcontrolador lo trae integrado. Esto le permitirá al bastón conectarse con otros dispositivos para hacer crecer sus capacidades.

2.6 Circuito de carga de la batería del bastón

El sistema cuenta con una batería recargable estándar y comercial para celular. De igual forma, para cargar la batería, el circuito electrónico se diseñó para que pueda emplearse cualquier cargador para celulares con conector micro USB de carga rápida. Ambos componentes pueden conseguirse de una manera relativamente fácil en tiendas de accesorios para celulares.

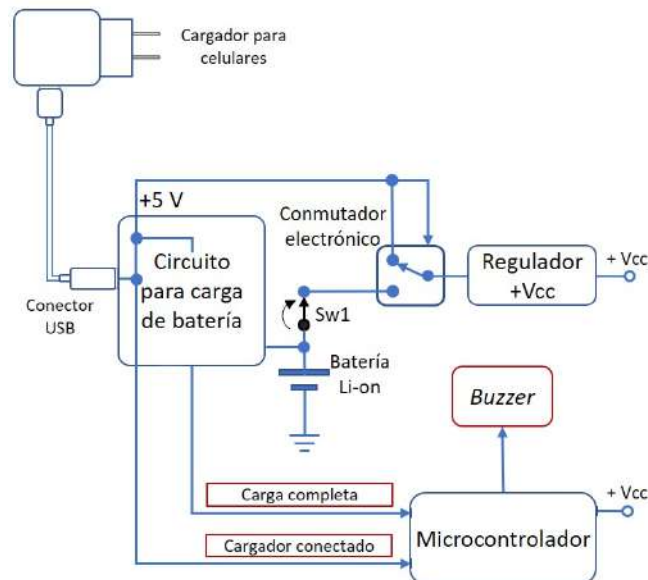


Figura. 5 Bloques involucrados para recargar la batería del bastón. En sistemas similares cuando se tiene carga completa, se enciende una luz, o se indica en una pantalla, pero en este caso por ser para una persona invidente se indica con sonido.

La figura 5 muestra el diagrama a bloques de los componentes para el proceso de carga de la batería del bastón. El sistema posee un circuito controlador de carga y descarga de batería para evitar que ésta se sobrecargue y pueda incendiarse. Puede observarse que, además, se cuenta con un conmutador o switch electrónico, el cual se activa automáticamente al momento de conectar el cargador de celular. Esto se hizo para que, en ese estado, la energía que alimenta al microcontrolador provenga directamente del cargador y la batería sólo se encuentre en modo de carga.

Cuando la batería se carga completamente, el circuito de carga envía una señal al microcontrolador para que éste active el *buzzer* y emita una alarma audible cada segundo. Con ello, la persona invidente puede darse cuenta de que la batería se ha cargado completamente.

Por otro lado, si la batería llega a un 10% de su carga, el microcontrolador recibe la señal del circuito de carga y comienza a emitir una alarma para indicárselo al usuario y que éste conecte el cargador a la energía eléctrica. Para la alarma de batería baja se programó que se emita un pulso de sonido cada minuto y para la señal de carga completa se programaron dos pulsos de sonido cada medio minuto.

El interruptor marcado como SW1 en la figura 5, le permite al usuario apagar el bastón para que no se descargue la batería, por ejemplo, si está sentado o en un ambiente conocido donde no es necesario detectar objetos a distancia.

3. Resultados y discusión

Como puede observarse, en la descripción de todos los componentes de este proyecto, se ha buscado que sean del menor tamaño posible y que gasten la menor cantidad de energía para poder conseguir un prototipo funcional y que pueda adoptarse fácilmente a un bastón convencional para invidentes.

Como se muestra en la figura 6, el sensor ultrasónico y la electrónica del sistema se encuentra en la parte superior del bastón. Se descartó colocarlos en la parte inferior porque no se podría detectar un obstáculo a la altura de la cintura del usuario.



Figura.6 Prototipo de bastón con tecnología 4.0 para invidentes, con la capacidad de detectar objetos antes de que sean tocados.

Al colocar el sensor en la parte superior, se observó que algunos objetos no son detectados correctamente. Al hacer pruebas en un circuito controlado, donde se colocó un cono naranja de vialidad, una bicicleta y un auto. El cono naranja fue el objeto que menos veces fue detectado. Los resultados de 100 pruebas se muestran en la tabla 1.

Tabla. 1 Conteo de objetos detectados por el sensor del bastón prototipo.

Objeto	No. de veces detectado (sobre 100 pruebas)
Cono naranja	78
Bicicleta	82
Auto	91

Con estos datos, se debieron detectar 300 objetos para obtener el 100%, pero en total, solo se detectaron 251, lo que nos indica que el sensor detectó el 83.6% de los objetos en un circuito de pruebas controlado.

Las pruebas de detección de objetos se realizaron en un estacionamiento, tal como se muestra en la figura 7. Los tres objetos se colocaron uno al lado de otro y una persona vidente caminaba con el bastón hacia el frente blandiéndolo de izquierda a derecha, tal como lo haría una persona invidente. Si el objeto era detectado con el sensor, se anotaba como una detección correcta, pero si el bastón tocaba el objeto, entonces se anotó como no detectado.

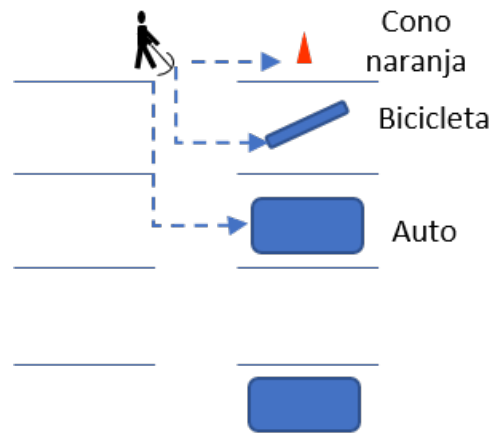


Figura.7 Pruebas de funcionamiento para detectar objetos. Fueron hechas por una persona vidente en un estacionamiento.

Cuando un objeto es detectado con el sensor, el microcontrolador activa tanto el *buzzer* como el motor de vibración, pero sólo lo hace al inicio de la detección del obstáculo, a diferencia de otros sistemas que mantienen activa la señal de audio hasta que se encuentra un espacio vacío (Dey et al., 2018), (Parikh et al. 2015). Esta estrategia se implementó con el fin de eficientar en lo posible el consumo de batería, ya que se observó que el motor de vibración consume 20 mA, con picos de 38 mA.

La figura 8 muestra el proceso para activar el *buzzer* y el motor de vibración. Cuando el usuario mueve el bastón de izquierda a derecha y el sensor detecta un objeto, se envían dos pulsos que activan el *buzzer* y el motor. Sólo se vuelven a enviar pulsos si el bastón entra a una zona donde no hay objeto y se mueve a otra donde si lo hay.

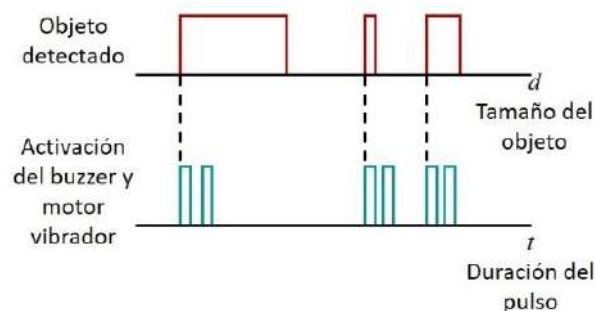


Figura.8 Activación del *buzzer* y el motor de vibración cuando se detecta un obstáculo. Se envían 2 pulsos tanto al *buzzer* como al motor para activarlos al inicio de la detección de un obstáculo.

Aún con la selección de componentes de bajo consumo de energía, el bastón tiene un tiempo aproximado a 2 horas con una batería de 3.6 volts y 2100 mA/h. Este tiempo es aproximado porque si se detectan más objetos, se demanda más energía de la batería y disminuye más rápido su carga. El tiempo de uso de este trabajo contrasta con el trabajo reportado por Ghafoor et al. (2019), donde el tiempo de uso es de 4 horas, aunque en ese trabajo se utiliza una batería más grande en tamaño con un voltaje de 9 volts.

4. Conclusiones

El integrar un sensor ultrasónico a un bastón se aumenta la utilidad del mismo, tal como lo indica el objetivo principal de la industria 4.0. Si bien no se detectó el 100% de los objetos, los resultados mostraron una detección superior del 80% en objetos a distancia, lo cual otorga la posibilidad de que una persona invidente cuente con una herramienta extra para realizar sus traslados de un lugar a otro.

Como trabajo futuro, se propone integrar el bastón con un sistema identificador de objetos aprovechando la conectividad *bluetooth*. También se debe buscar una mejor manera de gestionar el consumo de la batería para prolongar el tiempo de uso y/o determinar si es posible conseguir motores de vibración con consumos de corriente menores a los que actualmente se tienen o si se puede emplear un sensor ultrasónico diferente.

Además de lo anterior, se está trabajando en utilizar electrónica de tipo MOSFET, en lugar de electrónica bipolar para construir los drivers de los actuadores. Esta electrónica permitirá reducir en tamaño el circuito de control y su consumo de corriente eléctrica sin aumentar el tamaño de la batería y el peso del bastón. Una vez que se reduzca el tamaño del sistema, se realizarán nuevamente las pruebas y se probará, también, en un ambiente no controlado y por personas con discapacidad visual.

5. Referencias

- Álvarez, R. (2019). *WeWalk, el bastón para invidentes equipado con Google Maps, altavoz y que se puede enlazar a un smatphone*. Xataka. <https://www.xataka.com/wearables/wewalk-baston-para-invidentes-equipado-google-maps-altavoz-que-se-puede-enlazar-a-smartphone>
- Dey, N., Paul, A., Ghosh, P., Mukherjee, C., De, R., & Dey, S. (2018). Ultrasonic Sensor Based Smart Blind Stick. *Proceedings of the 2018 International Conference on Current Trends towards Converging Technologies, ICCTCT 2018*, 1–4. <https://doi.org/10.1109/ICCTCT.2018.8551067>
- Ghafoor, M. J., Junaid, M., & Ali, A. (2019). Nav-Cane A Smart Cane for Visually Impaired People. *RAEE 2019 - International Symposium on Recent Advances in Electrical Engineering*, 4, 1–4. <https://doi.org/10.1109/RAEE.2019.8886919>
- Guimares, C. S. S., Henriques, R. V. B., & Pereira, C. E. (2016). Tracking System Proposal of Walking Sticks Aiming the Orientation and Mobility of the Visually Impaired. *IFAC-PapersOnLine*, 49(30), 161–166. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2016.11.147>
- Javid, M., Haleem, A., Singh, R. P., Rab, S., & Suman, R. (2021). Significance of sensors for industry 4.0: Roles, capabilities, and applications. *Sensors International*, 2 (June), 100110. <https://doi.org/10.1016/j.sintl.2021.100110>

- Khafar, N. H. B. A., Soomro, D. M., Rahman, R. A., Abdullah, M. N., Soho, I. A., & Rahimoon, A. A. (2019). Intelligent Navigation System using Ultrasonic Sensor for Visually Impaired Person (VIP). *ICETAS 2019 - 2019 6th IEEE International Conference on Engineering, Technologies and Applied Sciences*, 6–9. <https://doi.org/10.1109/ICETAS48360.2019.9117297>
- Lopes, S. I., Vieira, J. M. N., Lopes, Ó. F. F., Rosa, P. R. M., & Dias, N. A. S. (2012). MobiFree: A set of electronic mobility aids for the blind. *Procedia Computer Science*, 14 (Dsai), 10–19. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2012.10.002>
- Nakagawa, E. Y., Antonino, P. O., Schnicke, F., Capilla, R., Kuhn, T., & Liggesmeyer, P. (2021). Industry 4.0 reference architectures: State of the art and future trends. *Computers and Industrial Engineering*, 156(March), 107241. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2021.107241>
- Organización Mundial de la Salud. (2020). *Ceguera y Discapacidad Visual*. <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/blindness-and-visual-impairment>
- Parikh, A., Shah, D., Popat, K., & Narula, H. (2015). Blind man stick using Programmable Interrupt Controller (PIC). *Procedia Computer Science*, 45(C), 558–563. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2015.03.102>
- Rajendra, A., & Tasgaonkar, P. P. (2016). Object recognition using horizontal array of ultrasonic sensors. *International Conference on Communications and Signal Processing*, 983–986. <https://doi.org/10.1109/ICCSP.2016.7754294>
- Sen, A., Sen, K., & Das, J. (2018). Ultrasonic Blind Stick for Completely Blind People to Avoid Any Kind of Obstacles. *Proceedings of IEEE Sensors, October 2018*. <https://doi.org/10.1109/ICSENS.2018.8589680>
- Shrivastava, A., Murali Krishna, K., Lal Rinawa, M., Soni, M., Ramkumar, G., & Jaiswal, S. (2021). Inclusion of IoT, ML, and Blockchain Technologies in Next Generation Industry 4.0 Environment. *Materials Today: Proceedings*. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.07.273>
- Sony, M., Antony, J., Mc Dermott, O., & Garza-Reyes, J. A. (2021). An empirical examination of benefits, challenges, and critical success factors of industry 4.0 in manufacturing and service sector. *Technology in Society*, 67. <https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2021.101754>
- The International Agency for the Prevention of Blindness. (2020). *Country map and estimates of vision loss. Age-std prevalence of all vision loss 2020*. <https://www.iapb.org/es/learn/vision-atlas/magnitude-and-projections/country-estimates-of-vision-loss/>