

## ARTÍCULO ACEPTADO

# Estado del Arte en Sistemas de Visión Artificial para Personas Invidentes

por **Juan Ramón Terven Salinas**, **Joaquín Salas** y **Bogdan Raducanu**

La visión artificial como sustituto de la visión humana es una herramienta importante en el desarrollo de dispositivos de apoyo a personas ciegas y débiles visuales. Entre las tareas para las cuales se ha usado la visión artificial para apoyo a personas invidentes con resultados prometedores se incluye: movilidad, orientación, reconocimiento de objetos, acceso a información impresa e interacción social. En este artículo se intenta hacer una revisión de los prototipos de laboratorio y dispositivos comerciales de apoyo a invidentes más importantes en los cuales se ha usado la visión artificial, en un esfuerzo para informar a la comunidad acerca de las capacidades de estos sistemas y el progreso en tecnología de asistencia para personas invidentes.

## Población con discapacidad visual

De acuerdo con la Organización Mundial de la Salud (OMS), se estima que a nivel mundial 285 millones de personas tienen deficiencias visuales, de las cuales 39 millones tienen ceguera y 246 millones son débiles visuales. De éstas, el 90 % viven en países en desarrollo [1] donde la malnutrición, los inadecuados servicios de salud y educación, además de la mala calidad del agua y la falta de higiene, conducen a una alta incidencia de enfermedad en los ojos [2].

Las principales causas de ceguera a nivel mundial son: cataratas, glaucoma, degeneración macular relacionada con la edad, opacidades corneales, errores refractivos no corregidos, tracoma, y retinopatía diabética [3]. Las cataratas y otras enfermedades tratables son la principal causa de ceguera en países subdesarrollados. Por su parte, las enfermedades degenerativas, tales como la retinopatía diabética, y los relacionados con la edad avanzada, como la degeneración macular, son las principales causas de ceguera en países desarrollados [4]. La ceguera predomina en personas mayores (se estima que el 82 % de todos los invidentes son mayores de 50 años [3]), las cuales están propensas a sufrir pérdidas auditivas. La edad de las personas y sus capacidades generales son factores que se deben tomar en cuenta al desarrollar tecnología que ayude a personas invidentes en su vida diaria.

## Tecnologías de asistencia para personas invidentes

Una gran cantidad de personas invidentes tradicionalmente usan bastón (llamado bastón blanco) para des-

plazarse. Otras, con la posibilidad de adquirirlo, utilizan un perro guía para apoyarse en su movilidad. Sin embargo estos aditamentos tienen sus limitantes y desventajas: por un lado, el bastón solo proporciona información del entorno en un rango de dos pasos en la parte baja del cuerpo (no protege de obstáculos al nivel de la cabeza). Por otro lado, el perro guía requiere de gran entrenamiento y coordinación [5], y tiene un alto costo.

Los dispositivos electrónicos de apoyo a movilidad (Electronic Travel Aid – ETA en inglés) han tenido poco éxito comercialmente ya que es muy difícil competir con la sencillez y bajo costo del bastón. Prueba de esto es que, muchos ETAs que alguna vez existieron comercialmente, ahora se encuentran fuera del mercado [6]. Las características que definen el éxito o fracaso de un dispositivo de apoyo son la interfaz y la usabilidad. Con interfaz nos referimos a la forma como el dispositivo proporciona la información al usuario. Esta información puede ser acústica o vibro-táctil, pero se debe ser cuidadoso en el diseño para no bloquear la audición, ya que es la entrada perceptual más importante de las personas invidentes [7]. La usabilidad involucra la estética del dispositivo (a nadie le gusta cargar un dispositivo grande y llamativo), el costo, y el rendimiento; es decir, qué tan viable es un dispositivo. Un ejemplo de mal rendimiento de un dispositivo es cuando éste no detecta los suficientes obstáculos para comunicar la presencia de éstos, o si detecta de más, notificando al usuario sobre obstáculos no existentes [8].

En los últimos años se ha visto un interés muy grande en el desarrollo de tecnologías para la asistencia de personas invidentes, algunos usan sensores ultrasónicos, infrarrojos o láser para la detección de objetos de interés. La visión artificial, a diferencia de estas tecnologías, permite una interpretación cognitiva del entorno, ofreciendo un mayor grado de reproducción de la realidad a cambio de mayor complejidad en el procesamiento de la información. A partir de los años 70's se ha extendido el uso de la visión artificial para apoyar a las personas invidentes [5] con prototipos basados en computadoras portátiles. Más recientemente, la integración de cámaras digitales en los teléfonos inteligentes ha dado inicio a una nueva generación de dispositivos que permiten a las personas invidentes realizar tareas cotidianas como: detectar obstáculos al caminar [9, 10], leer material impreso [10–12], reconocer objetos genéricos en supermercados [13,14], orientarse en interiores o exteriores [10, 15], e interactuar socialmente [16].

---

## El surgimiento de teléfonos inteligentes con cámara ha dado inicio a una nueva generación de dispositivos portables que permiten a las personas invidentes llevar una existencia independiente, siendo capaces de realizar tareas cotidianas como: detectar obstáculos al caminar, leer material impreso, reconocer objetos, orientarse en interiores, o exteriores, e interactuar socialmente

---

### Sistemas Basados en Visión Artificial

A continuación se describen tecnologías de apoyo a personas invidentes basadas en visión artificial enfocándonos en cinco áreas de aplicación: movilidad, orientación, acceso a información impresa, reconocimiento de objetos e interacción social.

#### Movilidad

El primer y único ETA comercial encontrado en la literatura que usa una cámara como sensor y algoritmos de visión artificial es el sistema vOICE [17]. Este sistema implementa una forma de substitución sensorial en la cual una imagen es transformada en sonido y posteriormente transmitido al usuario por auriculares. Una de las razones por las que el uso de cámaras no ha proliferado en los ETAs comerciales es debido a que los algoritmos de visión requieren gran procesamiento computacional por encima de las capacidades de los microcontroladores utilizados y se requieren computadoras de mayor tamaño y costo. Por otro lado, la visión artificial, aunque ha avanzado mucho en los últimos años, aun está lejos de igualar las capacidades del ojo humano cuando se trata de interpretar el contenido de una escena. Sin embargo, gracias a la miniaturización de la electrónica digital, en los últimos años han surgido procesadores multimedia –usados por teléfonos inteligentes– capaces de procesar imágenes en tiempo real, y suficientemente pequeños para ajustarse a un pequeño prototipo. Aunado a lo anterior, la comunidad de investigadores dedicados a la visión artificial crece día con día, por lo tanto creemos que es cuestión de tiempo para que ETAs de menor costo y funcionales basados en visión artificial aparezcan en el mercado.

A lo largo de los años, se han desarrollado diversos prototipos de laboratorio con la finalidad de evaluar y probar algoritmos de visión que en un futuro podrían ser utilizados en dispositivos comerciales. La mayoría de los prototipos encontrados en la literatura usan visión estéreo (uso de dos cámaras) para generar mapas de disparidad a partir de los cuales se identifican los obstáculos y su distancia. Por ejemplo: el Virtual Acoustic Space [18] desarrollado en el Instituto de Astrofísica de Canarias, ENVS (Electron-Neural Vision System) de la Universidad de Wollongong en Australia [19], el TVS (Tac-

tile Vision System) por la Universidad de Arizona [20], el Tyflos de la Universidad de Wright State [21], y el IG (Intelligent Glasses) desarrollado en la Universidad de Paris VI [22].

El problema con la visión estéreo es que requiere de dos cámaras y un algoritmo de disparidad computacionalmente intensivo. Este problema ha sido aliviado en los últimos años con la introducción en el mercado de cámaras de profundidad de bajo costo, como es el caso del Kinect de Microsoft. La ventaja de este tipo de cámaras es que proporcionan directamente el mapa de profundidad reduciendo los cálculos en la unidad central de procesamiento, además de tener un costo bajo. La desventaja es que solamente funcionan en interiores debido a que su modo de operación está basado en un proyector y sensor infrarrojo en el cual la luz solar causa interferencia. Un prototipo que usa cámara de profundidad es el KinDetect desarrollado en 2012 [23], el cual permite detectar personas y evadir obstáculos en ambientes interiores.

Uno de los retos actuales en el área de movilidad involucra la detección de obstáculos a nivel de la cabeza, ya que ni el bastón blanco ni el perro guía son capaces de detectar la presencia de este tipo de obstáculos. Una encuesta realizada a 300 personas invidentes reporta que el 13% experimenta accidentes a nivel de la cabeza por lo menos una vez al mes [24]. Otro reto consiste en el desarrollo de dispositivos que ayuden a cruzar la calle. Esta aplicación involucra el reconocimiento del entorno, además de la detección del flujo de tránsito vehicular.

#### Orientación

La orientación puede ser definida como la capacidad de saber y seguir la pista de la posición de uno mismo con respecto al entorno, y encontrar una ruta hacia el destino deseado [25]. Una problema común de orientación se presenta cuando la persona invidente desea cruzar la calle; para esto se requiere un cierto conocimiento del entorno y buena orientación al caminar para no desviarse del paso peatonal. Ivanchenko et al. [26], en 2008 desarrollaron una aplicación móvil llamada *Crosswatch* con la cual el usuario es capaz de encontrar pasos peatonales usando la cámara de su teléfono móvil. El sistema toma imágenes, las analiza efectuando reconocimiento de patrones y pro-

duce un tono audible cuando detecta un paso peatonal. Este sistema sólo es capaz de detectar pasos peatonales que tienen rayas.

Para orientación en interiores, Yang y Tian [27] presentan un algoritmo para detectar puertas usando bordes, esquinas y un modelo geométrico que contiene cuatro esquinas conectadas por líneas. Debido a que usa solo la forma, puede detectar puertas abiertas, en diversas iluminaciones a diversas escalas y deformaciones. Otro tipo de aplicaciones para orientación en interiores es el uso de etiquetas que pueden ser fácilmente detectadas por cámaras.

Tjan *et al.* [28], proponen el uso de etiquetas reflexivas impresas con patrones diseñados para ser detectados por una cámara dentro de edificios. Coughlan y Manduchi [25] proponen el uso de etiquetas que funcionan como puntos de referencia que pueden ser detectados fácilmente por medio de algoritmos de visión en un teléfono inteligente. Dichos puntos de referencia son figuras con una forma y color definidos. La idea es ayudar a las personas invidentes a localizar sitios de interés como fuentes, elevadores, puertas de salida, etc.

Una aplicación cotidiana de la orientación, se refiere a la localización de uno mismo y ser capaz de llegar a otro lugar. Comúnmente se usa la vista para localizar señalizaciones y puntos de referencia que guíen por lugares desconocidos, ya sea en la calle o dentro de edificios. Las personas invidentes al carecer de este sentido ven disminuida su autonomía y es común verles acompañados de otras personas, o verles preguntar por direcciones frecuentemente. En nuestra búsqueda, no se encontraron dispositivos basados en visión artificial para apoyar en la orientación en exteriores. La solución actual se basa en el uso de receptores GPS en los teléfonos inteligentes. Esta área representa una oportunidad y a la vez un reto.

## Acceso a Información Impresa

Leer información impresa es otra gran limitación que tienen las personas con deficiencias visuales. Tener acceso a libros, periódicos, revistas, facturas, señales en la calle e información de productos, es una actividad común que las personas realizan en su vida cotidiana. Tomando en cuenta que solo el 10 % de los niños invidentes aprenden Braille [29] y que la mayoría de los documentos no están disponibles en este formato, es indispensable el desarrollo de dispositivos que permitan leer información impresa.

El desarrollo de técnicas de reconocimiento de caracteres (Optical Character Recognition – OCR en inglés) cada vez más poderosas, ha permitido el surgimiento de dispositivos para acceder a este material. En un inicio, estos dispositivos eran grandes y necesitaban escanear toda la hoja (por ejemplo el lector Arkenstone). Actualmente, encontramos este funcionamiento en teléfonos inteligentes con aplicaciones como *Georgie* [10] o el *kReader* [12]. El problema de estas aplicaciones es que resulta compli-

cado para el usuario invidente apuntar la cámara para encuadrar correctamente el texto. Con este problema en mente Voiceye [11] creó un código de 2.5 cm<sup>2</sup> a partir de información impresa. Este código es capaz de almacenar hasta dos páginas completas de texto. Los usuarios invidentes tienen acceso al contenido de dicho código con un lector Voiceye que puede ser un teléfono inteligente con la aplicación instalada. Esta técnica es utilizada en escuelas, universidades, periódicos y en algunas compañías de Corea del Sur.

Actualmente, la investigación en este campo está centrada en la detección de texto en imágenes no uniformes que combinan figuras con texto, como es el caso de gráficas, logos, señales en la calle, entre otras.

## Reconocimiento de Objetos

El reconocimiento de objetos para personas invidentes ha sido otra aplicación práctica donde la visión artificial se ha utilizado con resultados prometedores. Por ejemplo, el reconocimiento de billetes y objetos en un supermercado resulta difícil cuando tienen el mismo tamaño y textura. Las aplicaciones *Money Reader* y *Recognizer*, desarrolladas por LookTel [13] para teléfonos inteligentes, permiten el reconocimiento de billetes y objetos genéricos usando la cámara del móvil.

El sistema Trinetra consiste en un prototipo no comercial desarrollado en la Universidad de Carnegie Mellon para ayudar a los usuarios a reconocer objetos en un supermercado por medio de su código de barras [14]. Otro prototipo fue desarrollado por Winlock *et al.* [30], capaz de reconocer objetos en un supermercado. Este sistema está pensado para ser usado en dispositivos móviles donde el usuario define una lista de compras. Durante la búsqueda, el usuario desplaza la cámara a través de los estantes y el sistema avisa cuando detecta un objeto de la lista de compras.

Además de reconocer billetes y objetos genéricos, una aplicación para brindar mayor autonomía a las personas invidentes consiste en reconocer el transporte público sin necesidad de pedir ayuda. Para esto, Guida *et al.* [31] presentan un método para identificar el número de ruta de un camión de transporte público. El método combina visión por computadora con técnicas de aprendizaje automático para lograr robustez con respecto a reflejos, sombras y oclusiones.

Aun cuando estas aplicaciones y prototipos muestran resultados prometedores, el reconocimiento de objetos para fines de asistencia visual aún se encuentra en una etapa temprana de desarrollo, debido a que presenta diversos retos que no han sido resueltos del todo. Por ejemplo, el caso del usuario que no apunta correctamente al objeto y tiene solo una porción del mismo, o los movimientos rápidos de la cámara que producen imágenes borrosas, todo ello degradando el rendimiento de los algoritmos de reconocimiento de objetos.

## Interacción Social

La interacción social son los actos, acciones, o prácticas de 2 o más personas orientadas mutuamente [32]. Estas interacciones se basan en el uso de la comunicación no verbal, tanto del dominio visual (sonreír, guiñar un ojo o mostrar interés) como del dominio auditivo (usando prosodia del habla para identificar situaciones de mutuo acuerdo o discusiones contradictorias). Todas estas señales implícitas refuerzan el mensaje verbal. Por lo tanto, las personas invidentes se encuentran en una clara situación de desventaja social, al no tener acceso a un conjunto importante de este tipo de señales.

En la Universidad Estatal de Arizona han trabajado en los últimos años en el proyecto llamado *iCARE Social Interaction*, cuyo objetivo es permitir a las personas invidentes acceder a información visual durante encuentros sociales. Este dispositivo cuenta con una cámara conectada a una computadora portátil o a un teléfono móvil [16]. Así, por medio de algoritmos de visión artificial, *iCARE* detecta la posición de la otra persona y dicha información es proporcionada al usuario por medio de un cinturón con motores vibradores [33]. El sistema también es capaz de detectar siete emociones básicas (felicidad, tristeza, sorpresa, enojo, miedo, disgusto y neutral) y proporcionar dicha información por medio de un guante con 14 vibradores [34]. Este sistema es el único prototipo encontrado en la literatura y no se encontró ningún dispositivo comercial, basado o no en visión artificial, que apoye en esta área.

El desarrollo de dispositivos de apoyo para interacción social representa un área de oportunidad escasamente explorada, con grandes retos e interesantes aplicaciones. Por ejemplo, es posible desarrollar aplicaciones móviles que capturen e interpreten señales visuales que permitan al usuario invidente a participar de manera más activa en una conversación.

## Desarrollos Tecnológicos en México

En el Instituto Politécnico Nacional, hemos estado trabajando con diversos dispositivos para apoyar a personas invidentes. Uno de ellos consiste en un cinturón con tres motores vibratorios y una cámara Kinect (Figura 1) usada para obtener un mapa de profundidad a partir del cual se detectan los obstáculos.

El sistema de visión está controlado por una computadora embebida PandaBoard. La Figura 1(b) muestra el mapa de profundidad dado por la cámara (los colores indican distancias) y la Figura 1(c) muestra el plano donde se encuentran los obstáculos hasta dos metros de altura; este plano se divide en tres secciones que representan la parte frontal del usuario.

La descripción de estas secciones es comunicada al usuario por medio de los motores vibradores en los cuales la intensidad de vibración es proporcional a la cercanía de los objetos.

Otro proyecto de movilidad en el que se trabaja en el IPN es el *Virtual White Cane*, el cual simula un bastón por medio de la combinación de un teléfono inteligente y un apuntador láser (Figura 2). La reflexión del láser es capturada por la cámara del teléfono y se calcula la distancia de los objetos por triangulación activa. Dicha información es proporcionada al usuario por medio de vibraciones del mismo teléfono, en donde la intensidad de la vibración es proporcional a la cercanía de los obstáculos.

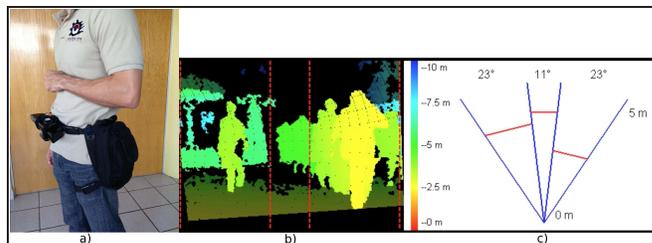


Figura 1. Asistente electrónico para movilidad. (a) Prototipo completo puesto en el usuario. (b) Imagen de profundidad proporcionada por el Kinect. (c) Mapa de obstáculos indicando la posición (eje horizontal) y la distancia (eje vertical)



Figura 2. Virtual White Cane. Un láser es acoplado a un Smartphone por medio de una estructura, la distancia de los objetos es medida usando triangulación activa. La vibración del dispositivo indica la distancia del objeto apuntado (tomada con permiso de los autores [9])

Además de estos prototipos enfocados a movilidad, los autores se encuentran trabajando en el desarrollo de tecnologías que apoyen a personas invidentes en su interacción social, determinando el grado de atención de las otras personas a través de gestos faciales y corporales.

## Conclusiones

**Para aumentar las probabilidades de aceptación de estos sistemas electrónicos por parte de las personas invidentes, las opiniones y experiencias de sus potenciales usuarios deben ser tomadas en cuenta en todas las fases de desarrollo del dispositivo, desde el diseño inicial hasta el prototipo experimental final**

En esta revisión encontramos que aunque la visión artificial representa una herramienta poderosa para el desarrollo de tecnologías de apoyo a personas invidentes, aún no ha sido totalmente explotada y la tendencia que se observa es aprovechar el hardware existente en los teléfonos inteligentes para implementar los algoritmos en software.

Un problema común en el desarrollo de prototipos es que no son probados por ciegos o débiles visuales durante el proceso de diseño, dejando este paso a la etapa de pruebas final cuando el prototipo está casi terminado; por lo tanto, se desconocen las verdaderas necesidades de los usuarios invidentes provocando un rechazo del prototipo y una desilusión por parte del diseñador. Otro problema relacionado es que muchos prototipos resultan incómodos de usar debido a su tamaño y estética. Para evitar estos problemas, lo recomendable es centrar el diseño en el humano, es decir, considerar las opiniones y experiencias de los usuarios invidentes desde la concepción del prototipo, guiando cada paso del proceso de diseño, para que la funcionalidad se adapte a las verdaderas necesidades y expectativas del usuario final.

Consideramos que el uso de la visión artificial para apoyo a invidentes está en una etapa temprana y existe la oportunidad de desarrollar algoritmos de visión más avanzados, que ofrezcan un nivel más alto de interpretación de la información visual, por ejemplo, que sean capaces de 'entender' el contenido de una imagen, de una escena, o de interpretar la actitud del interlocutor (si está contento, presta atención a la conversación, etc.). La combinación de esta tecnología con interfaces más avanzadas y multimodales, además de la incorporación del sistema en dispositivos que puedan portar, obtenidos al incrementar la funcionalidad de objetos cotidianos (tales como gafas dotadas con cámaras de visión, altavoz y GPS) garantizarán mayor aceptación por parte de los usuarios y les devolverá la confianza de llevar una vida independiente y auto-suficiente.

## REFERENCIAS

1. Visual impairment and blindness. <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs282/en/>. 2013.
2. World Blindness Overview. <http://www.cureblindness.org/world-blindness/>. 2013.

3. Mariotti S.(2012). "Technical Report: Global Data on Visual Impairments 2010".
4. Vision Impairment and eye disease is a major public health problem. [http://www.eyersearch.org/resources/Vision\\_Impairment\\_factsheet.html](http://www.eyersearch.org/resources/Vision_Impairment_factsheet.html). 2012.
5. Liu J. y Sun X. (2006) "A Survey of Vision Aids for the Blind". *En 6th World Congress on Intelligent Control and Automation*, Vol. 1, pp. 4312–4316.
6. Roentgen U., Gelderblom G., Soede M., y de Witte L.(2008) "Inventory of Electronic Mobility Aids for Persons with Visual Impairments: A Literature Review". *Journal of Visual Impairment & Blindness*, Vol. 102, No. 11.
7. Dakopoulos D, y Bourbakis N. (2010) "Wearable Obstacle Avoidance Electronic Travel Aids for Blind: A Survey". *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, Vol. 40, No. 1, pp. 25–35.
8. Manduchi R. y Coughlan J. (2012) "(Computer) vision without sight". *Communications of the ACM*, Vol. 55, No. 1, pp. 96–104.
9. Vera P., Zenteno D., y SalasJ. (2013) "A Smartphone-Based Virtual White Cane". *Pattern Analysis and Applications*.
10. Georgie, Sight and Sound Technology. <http://www.sightandsound.co.uk/shop/products.php?product=GEORGIE>. 2012.
11. Voiceye. [http://www.voiceye.com/voiceye\\_2012/eng/index.aspx](http://www.voiceye.com/voiceye_2012/eng/index.aspx). 2012.
12. K-NFB Reading Technology Inc.. <http://www.knfbreader.com>. 2012.
13. LookTel. <http://www.looktel.com>. 2012.
14. Lanigan P., Paulos A., Williams A., Rossi D., y Narasimhan P. (2006) "Trinetra: Assistive Technologies for Grocery Shopping for the Blind". *n 10th IEEE International Symposium on Wearable Computers* pp. 147–148.
15. Ciaffoni L. (2012) "Ariadne GPS Mobility and map exploration for all". <http://www.ariadnegps.eu>.
16. Krishna S. y Panchanathan S. (2010) "Assistive Technologies as Effective Mediators in Interpersonal Social Interactions for Persons with Visual Disability". *En Computers Helping People with Special Needs*, Vol. LNCS6180, pp. 316–323.
17. Meijer P. (1992) "An experimental system for auditory image representations". *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, Vol. 39, No. 2, pp. 112–121.
18. González J., Rodríguez A., Rodríguez L., Díaz L., y Sosa N. (1999) "Development of a new space perception system for blind people, based on the creation of a virtual acoustic space". *En Engineering Applications of Bio-Inspired Artificial Neural Networks*, Vol. LNCS1607, pp. 321–330.
19. Meers S. y Ward K. (2005) "A Substitute Vision System for Providing 3D Perception and GPS Navigation via Electro-Tactile Stimulation". *En International Conference on Sensing Technology*, pp. 551–556.
20. Johnson L. y Higgins C. (2006) "A navigation aid for the blind using tactile-visual sensory substitution.". *En International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society*, pp. 6289–6292.
21. Bourbakis N., Keefer R., Dakopoulos D., y Esposito A. (2008) "A Multimodal Interaction Scheme between a Blind User and the Tyflos Assistive Prototype". *En 20th IEEE International Conference on Tools with Artificial Intelligence*, Vol. 2, pp. 487–494.
22. Velazquez R., Fontaine E., y Pissaloux E. (2006) "Coding the Environment in Tactile Maps for Real-Time Guidance of the Visually Impaired". *En IEEE International Symposium on MicroNanoMechanical and Human Science*, pp. 1–6.
23. Khan A., Moideen F., Lopez J., Khoo W., y Zhu Z., "KinDetect: Kinect Detecting Objects". *En Computers Helping People with Special Needs*, Vol. LNCS7383, pp. 588–595.

24. Manduchi R. y Kurniawan S. (2011) "Mobility-Related Accidents Experienced by People with Visual Impairment". *AER Journal: Research and Practice in Visual Impairment and Blindness*, Vol. 4, No. 2, pp. 44-54.
25. Coughlan J. y Manduchi R. (2009) "Functional Assessment of a Camera Phone-Based Wayfinding System Operated by Blind and Visually Impaired Users". *International Journal of Artificial Intelligence Tools*, Vol. 18, No. 3, pp.379-397.
26. Ivanchenko V., Coughlan J., y Shen H. (2008) "Crosswatch: A Camera Phone System for Orienting Visually Impaired Pedestrians at Traffic Intersections". *En Computers Helping People with Special Needs*, Vol. LNCS5105, pp. 1122-1128.
27. Yang X. y Tian Y. (2010) "Robust door detection in unfamiliar environments by combining edge and corner features". *En IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, pp. 57-64.
28. Tjan B., Beckmann P., Roy R., Giudice N., y Legge G. (2005) "Digital Sign System for Indoor Wayfinding for the Visually Impaired". *En IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, pp. 20-25.
29. Braille Readers are Leaders. <https://nfb.org/braille-usage-chap1.2012>.
30. Winlock T., Christiansen E., y Belongie S. (2010) "Toward real-time grocery detection for the visually impaired". *En IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, pp. 49-56.
31. Guida C., Comanducci D., y Colombo C. (2011) "Automatic bus line number localization and recognition on mobile phones - a computer vision aid for the visually impaired". *En Image Analysis and Processing*, Vol. LNCS6979, pp. 323-332.
32. Krishna S., Little G., Black J., y Panchanathan S. (2005) "A wearable face recognition system for individuals with visual impairments". *En 7th International Conference on Computers and Accessibility*, pp. 106-113.
33. McDaniel T., Krishna S., Balasubramanian V., Colbry D., y Panchanathan S. (2008) "Using a haptic belt to convey non-verbal communication cues during social interactions to individuals who are blind". *En IEEE International Workshop on Haptic Audio Visual Environments and Games*, pp. 13-18.
34. Krishna S., Bala S., McDaniel T., McGuire S., y Panchanathan S., "VibroGlove: An Assistive Technology Aid for Conveying Facial Expressions". *En International Conference Extended Abstracts on Human factors in Computing Systems*, pp. 3637-3642.

## SOBRE LOS AUTORES



**Juan Ramon Terven Salinas** es estudiante de Doctorado en Tecnología Avanzada en CICATA-IPN, Maestro en Ciencias por la Universidad Autónoma de Sinaloa e Ingeniero en Electrónica egresado del Instituto Tecnológico del Mar en Mazatlán. Es miembro del Sistema Sinaloense de Investigadores y Tecnólogos. Su área de especialidad son los sistemas embebidos y el procesamiento de señales e imágenes. Ha laborado como profesor en el Instituto Tecnológico de Mazatlán y en la Universidad Politécnica de Sinaloa.



**Joaquín Salas** es profesor del Instituto Politécnico Nacional. Su investigación se centra en la visión por computadora, donde ha publicado 50 artículos en revistas y congresos internacionales. Ha sido investigador visitante en la Escuela Nacional Superior de Telecomunicaciones de Bretaña, la Universidad de Stanford, la Universidad Estatal de Oregon, la Universidad Autónoma de Barcelona, el PARC de Xerox, y la Universidad de Duke. Ha dirigido varias investigaciones y proyectos aplicados a la industria. Por su actividad profesional, recibió la medalla Lázaro Cárdenas del Río por el Presidente de México.



**Bogdan Raducanu** es Doctor por la Universidad del País Vasco en Bilbao España, Ingeniero en Ciencias de la Computación por la Universidad Politécnica de Bucarest, Rumania. Actualmente es investigador director de proyectos en el Centro de Visión por Computadora en Barcelona. Sus áreas de interés son: visión por computadora, reconocimiento de patrones, aprendizaje automático, inteligencia artificial, cómputo social e interacción hombre-máquina. Es autor o coautor de alrededor de 70 publicaciones internacionales en congresos y revistas de alto impacto.